

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Obytný dům z materiálů na bázi dřeva

House for living made of wood based materials

Student:

Bc. Andrea Köcherová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Andrea Köcherová**

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T037 Konstrukce staveb

Téma:

Obytný dům z materiálů na bázi dřeva  
House for living made of wood based materials

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše historických a současných konstrukčních systému dřevěných konstrukcí.
- 2) Dispoziční řešení navrhovaného objektu.
- 3) Návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů v mezním stavu únosnosti i použitelnosti.
- 4) Návrh a posouzení vybraných nosných prvků z hlediska požární odolnosti.
- 5) Výkresová dokumentace ve vhodném měřítku.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 4) ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- 5) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály.
- 6) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů.

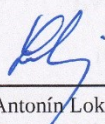


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

**Prohlašuji, že:**

- Jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Davidu Mikoláškoví, Ph.D. za pomoc a rady při vytváření modelu řešené konstrukce. Samozřejmě bych také ráda poděkovala Ing. Kristýně Vavrušové, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady, vstřícnost a ochotu.

## **ANOTACE**

Cílem této diplomové práce je návrh a statické posouzení konstrukce obytného domu z materiálů na bázi dřeva. Součástí práce je také rešerše historických i současných konstrukčních systémů z materiálů na bázi dřeva. Pro výpočet vnitřních sil byl vytvořen prostorový výpočetní model, který byl zatížen veškerým stálým i proměnným zatížením. Hlavní nosné prvky jsou posouzeny v mezním stavu únosnosti, použitelnosti a z hlediska požární odolnosti. Na konci práce jsou posouzeny také vybrané nosné spoje.

### **Klíčová slova**

Obytný dům, materiály na bázi dřeva, rešerše, dispoziční řešení, požární odolnost, statické posouzení, spoje, nosný systém, ztužení, sloup, průvlak, stropnice

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to design and static assessment of the construction of a house for living made of wood-based materials. A part of the thesis is also research of historical and contemporary structural systems of wood-based materials. For calculation of internal forces a computational model was created, which was loaded with all permanent and imposed loads. The main load-bearing components are analyzed statically and for fire resistance. At the end of the thesis selected connecting components are also analyzed.

### **Key words**

House for living, wood-based materials, research, layout, fire resistance, static assessment, joint, load-bearing system, bracing, column, bearer, beam





# OBSAH

1. Úvod.....	13
2. Rešerše nosných systémů dřevěných konstrukcí.....	15
2.1 Srubové stavby.....	15
2.2 Hrázděné stavby.....	16
2.3 Balloon-Frame, Platform-Frame.....	18
2.3.1 Balloon-Frame.....	18
2.3.2 Platform-Frame.....	18
2.4 Rámové stavby.....	19
2.5 Skeletové stavby.....	20
2.5.1 Sloup a dvojitý nosník.....	21
2.5.2 Dvojitý sloup a nosník.....	22
2.5.3 Nosníky uložené na sloupech.....	23
2.5.4 Sloup a přilehlý nosník.....	23
2.5.5 Vidlicový sloup.....	24
2.5.6 Ztužení.....	25
2.6 Stavby z masivního dřeva.....	26
2.6.1 Křížově lepené řezivo.....	27
2.6.2 Vrstvené řezivo.....	27
2.6.3 Křížově kolíkové dílce.....	28
2.6.4 Materiály na bázi dřeva.....	29
2.6.5 Příčné lepení s mezerami.....	29
2.6.6 Dřevěný modulový-zásuvný systém.....	30
3. Nosný systém.....	31
3.1 Stropní konstrukce.....	32
3.2 Konstrukce balkonu.....	33
3.3 Ztužení konstrukce.....	33
4. Dispoziční řešení.....	37
5. Výpočetní model konstrukce.....	41
6. Skladby konstrukcí.....	43
6.1 Obvodový plášť.....	43
6.2 Předsazená stěna spřažená s betonovým jádrem.....	44

6.3 Podlaha na terénu.....	45
6.4 Stropní konstrukce.....	46
6.5 Střešní konstrukce.....	48
6.6 Konstrukce balkonu.....	49
6.7 Mezibytová příčka.....	50
6.8 Bytová příčka.....	51
7. Zatížení.....	53
7.1 Stálá zatížení.....	53
7.1.1 Zatížení od vlastní tíhy obvodového pláště.....	53
7.1.2 Zatížení od vlastní tíhy stropní konstrukce.....	54
7.1.3 Zatížení od vlastní tíhy střešní konstrukce.....	54
7.1.4 Zatížení od vlastní tíhy konstrukce balkonu.....	55
7.1.5 Zatížení od mezibytových příček.....	56
7.1.6 Zatížení od bytových příček.....	56
7.2 Užitná zatížení.....	57
7.2.1 Zatížení střechy.....	57
7.2.2 Zatížení balkonu.....	58
7.2.3 Zatížení schodiště.....	58
7.2.4 Zatížení stropu.....	59
7.2.5 Přehled působících zatížení.....	60
7.3 Zatížení větrem.....	60
7.3.1 Vstupní hodnoty.....	60
7.3.2 Vyšší část budovy.....	61
7.3.3 Nižší část budovy.....	63
7.4 Zatížení sněhem.....	67
7.5 Zatížení zeminou.....	69
8. Návrh nosné konstrukce.....	71
8.1 Stropnice střešní konstrukce – bez spolupůsobícího záklopu z OSB	
desek.....	71
8.1.1 Vstupní hodnoty.....	71
8.1.2 Vnitřní síly.....	73
8.1.3 Posouzení mezního stavu únosnosti.....	74
8.1.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti.....	75

8.2 Posouzení stropnice – se spolupůsobícím záklopem z OSB desek.....	77
8.2.1 Vstupní hodnoty.....	78
8.2.2 Vnitřní síly.....	82
8.2.3 Posouzení mezního stavu únosnosti.....	83
8.2.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti.....	85
8.2.5 Posouzení únosnosti hřebíkového spoje spřažení.....	87
8.2.6 Posouzení požární odolnosti stropnice.....	90
8.3 Stropnice konstrukce balkonu.....	93
8.3.1 Vstupní hodnoty.....	94
8.3.2 Vnitřní síly.....	97
8.3.3 Posouzení mezního stavu únosnosti.....	99
8.3.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti.....	100
8.4 Návrh průvlaku.....	102
8.4.1 Vstupní hodnoty.....	102
8.4.2 Vnitřní síly.....	106
8.4.3 Posouzení mezního stavu únosnosti.....	108
8.4.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti.....	109
8.4.5 Posouzení požární odolnosti průvlaku.....	110
8.5 Sloup.....	116
8.5.1 Vstupní hodnoty.....	116
8.5.2 Vnitřní síly.....	118
8.5.3 Posouzení mezního stavu únosnosti.....	119
8.5.4 Stlačení sloupu.....	120
8.5.5 Posouzení požární odolnosti sloupu.....	122
8.6 Ztužení.....	126
8.6.1 Vstupní hodnoty.....	126
8.6.2 Vnitřní síly.....	128
8.6.3 Posouzení mezního stavu únosnosti.....	128
9. Návrh nosných spojů.....	131
9.1 Napojení stropnice na průvlak.....	131
9.2 Napojení průvlaku na sloup.....	133
10. Závěr.....	139
Použité zdroje.....	141

## Přílohy

### Výkresy

01 Pohledy

02 Pohledy

03 Půdorys 1. PP

04 Půdorys 1. NP

05 Půdorys 2. NP

06 Řez A-A'

07 Spoj stropnice s průvlakem

08 Spoj průvlaku se sloupem

# 1. ÚVOD

Dřevo je přírodní stavební materiál provázející člověka celou historií. Hlavní roli ve stavbě obydlí hrálo převážně v pravěku a starověku. S příchodem nových materiálů, jako je zdivo, později i beton, začala výstavba dřevěných konstrukcí upadat a dřevo jako konstrukční materiál bylo u nás omezeno v podstatě jen na nenáročné a jednoduché konstrukce.

Se stále narůstajícími nároky na kvalitu životního prostředí v současnosti ovšem rostou zároveň požadavky na ekologičnost výstavby. Dřevo se proto jeví jako vhodný materiál, jedná se o obnovitelný materiál, má pozitivní vliv na ochranu krajiny a snižuje nároky na těžbu neobnovitelných surovin. Dřevo a výrobky z něj pomáhají snižovat emise CO<sub>2</sub>, způsobující skleníkový efekt, přispívají tedy ke stabilitě klimatu Země. Výhodou je také čisté staveniště a minimální zátěž okolí těžkou dopravou. [16] V případě dřevěných staveb se také z důvodu tepelně-izolačních vlastností dřeva snižují náklady na vytápění objektu. Z tohoto důvodů dřevo v posledních letech opět nabývá na významu, jeho podíl v konstrukcích především rodinných domů i u nás stále roste.

Při návrhu dřevěné konstrukce je potřeba se zabývat také požární odolností konstrukce. Dřevo se řadí mezi hořlavé materiály, nicméně jeho chování při požáru lze do značné míry předvídat a požární odolnost dřeva patří k nejvyšším. Požární odolnost lze zvýšit použitím obkladů z hořlavých nebo nehořlavých materiálů, impregnací nebo zpěňujícími či zplyňujícími nástřiky.

Právě požární odolnost je v návrhu vícepodlažních dřevostaveb limitující. V České republice je výška omezena 12 metry (počítáno od prvního podlaží po podlahu posledního podlaží), což odpovídá pětipodlažnímu domu. [15] Oproti tomu například ve skandinávských zemích již počet podlaží není omezen. [17]

V této práci je řešen obytný dům o třech podlažích. Navrženo bylo půdorysné řešení objektu, konstrukční systém, stropnice, průvlaky, sloupy a ztužení včetně posouzení jejich únosnosti. Posuzovány byly také vybrané spoje. Součástí práce dále bylo také posouzení hlavních nosných prvků na požární odolnost.





## 2. REŠERŠE NOSNÝCH SYSTÉMŮ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

### 2.1 Srubové stavby

Tradice srubových staveb sahá daleko do minulosti a výrazně ovlivnila evropskou architekturu dřevěných staveb. Především v Rusku a Skandinávii se jako srubové stavby stavěly nejenom obytné domy, ale také paláce, věže, nebo kostely. Velmi rozšířené jako příbytky obyvatel byly také v horách střední Evropy, především v Alpách. [13]

Srubové stavby se v horských oblastech zřizují dodnes, nejvíce jich nalezneme ve Švýcarsku, bavorských Alpách a Rakousku. Vědomosti tesařů jsou zde předávány z generace na generaci, tím si konstrukce zachovává své charakteristické znaky, zároveň jsou ale domy stále přizpůsobovány nejnovějším standardům bydlení. [13]



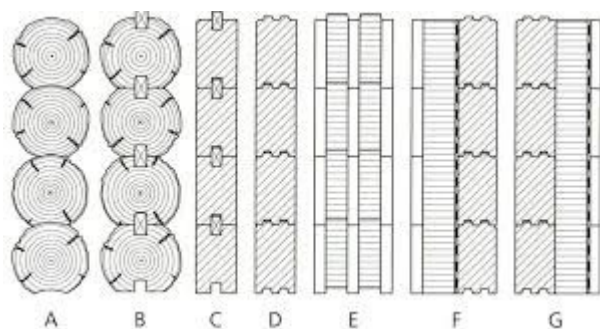
Obr. 2.1 Příklad srubové stavby [18]

Tento druh staveb je ovšem často stavěn také v prostředí, kde není tolik spjat s tradicí a mezi současné stavby se nehodí. Navíc jsou srubové stavby často stavěny bez potřebných vědomostí a konstrukčních zásad, plynoucích právě z dlouhodobých zkušeností. [13]

Plášť budov nejprve sestával pouze z jedné vrstvy, která měla kromě nosné funkce zároveň funkci obkladovou a utvářela i vnitřní prostor. Později se konstrukce musela přizpůsobit požadavkům uživatelů, proto je dnes plášť tvořen více vrstvami plnicími různé funkce. [13]

Nevýhodami těchto staveb je pevné uspořádání půdorysu a velká spotřeba dřeva. Také je potřeba počítat s výrazným sednutím, které může dosahovat až 25 mm v každém poschodí. Je proto nutné zvážit konstrukční opatření akceptující toto sedání a vhodné připojení ke svislým konstrukcím. [13]

Vícepodlažní srubové stavby již dnes nejsou z konstrukčních a hospodářských důvodů běžné. [13]



Obr. 2.2 Konstrukční řešení srubových staveb [13]

A – Kulatina

B – Kulatina s ložnými plochami a pery v drážkách

C+D - Hranoly spojené drážkou a hřebenem nebo perem

E – Prefabrikované sendvičové prvky

F – Tepelně izolovaná srubová stěna, uvnitř viditelná

G – Tepelně izolovaná srubová stěna, zvenčí viditelná

## 2.2 Hrázděné stavby

Hrázděné stavby se vyznačují viditelnou nosnou kotrrou stavby. Jsou široce rozšířeny především ve východní a střední Evropě, Anglii, severním Německu, Dánsku a Nizozemsku. Vyvinuly se hlavně v regionech, kde nebylo k dispozici takové množství dřeva potřebné pro srubové stavby. [13]

Stěny hrázděných staveb jsou tvořeny hranolovou kotrrou, která je neposuvná. Z hlediska umístění v konstrukci se dělí na vnější a vnitřní. Všechny statické síly přenášejí pruty. Prostory dutin, dříve vyzdívané, později vyplňované izolačním materiálem, jsou staticky nevýznamné. [13]



Obr. 2.3 Příklad hrázděné stavby [19]

Nejprve převažovaly stavby, u kterých zůstávala nosná konstrukce viditelná. Především v druhé polovině 19. století se ve městech začínaly hrázděné stavby omítat, aby napodobily ostatní masivní stavby z kamene nebo zdiva a také proto, aby tyto stavby potlačily svůj venkovský vzhled. [13]

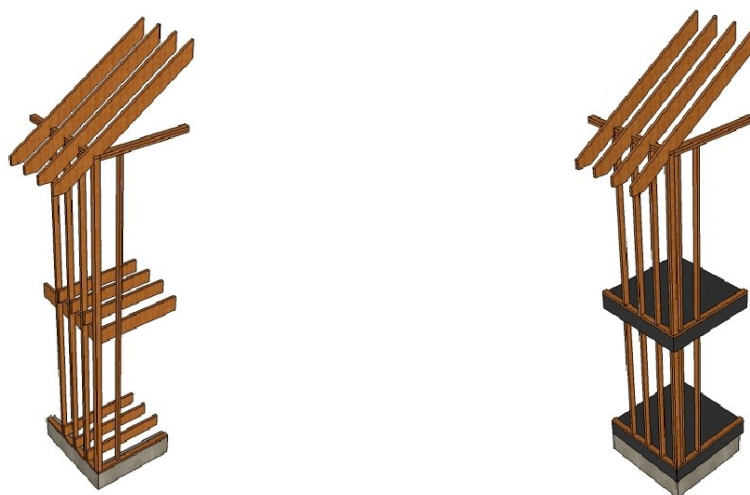
S postupem doby a vývojem nových materiálů a konstrukčních řešení se od tradičních hrázděných staveb z ekonomických důvodů upouštělo, výztužná konstrukce a výrobní metody byly nahrazeny vhodnějšími konstrukcemi. Dnes se vícepodlažní hrázděné stavby z ekonomických, montážních a konstrukčních důvodů již nestaví. [13]

Spoje dřeva jsou schopné přenášet pouze tlakové síly, nikoli tahové. Dříve se používaly komplikované ozdobné spoje, zajištěné kolíky. Později se pro spoje prahů a vaznic používalo plátování, sloupky, vzpěry a příčné prvky se spojovaly čepovými spoji, případně se užívalo zapuštění. Proti posunutí se spoje zajišťují hřebíky, vruty, svorníky nebo hmoždíky. [13]

Velikost sednutí je výrazně ovlivněna zabudováním vodorovných prvků, proto docházelo k vývoji nových konstrukcí s co nejmenším počtem těchto prvků a také se požaduje, aby bylo zabudováno již vysušené dřevo. [13]

## 2.3 Balloon-Frame, Platform-Frame

Kolem roku 1850 se ve Spojených státech amerických, kde byla požadována především rychlá výstavba, zrodil nový konstrukční systém dřevěných staveb. Systém spočíval ve sloupcích štíhlého a vysokého průřezu postavených v malých vzdálenostech. Na ně byla hřebíky oboustranně přitlučena prkna nebo desky na bázi dřeva, které sloužily jako plášť a zároveň ztužení budovy. Prosadily se především dva konstrukční systémy, Balloon-Frame a Platform-Frame. Nevýhodou systému je malá možnost předvýroby a z toho plynoucí vysoká pracnost na staveništi. [13]



Obr. 2.4 Balloon-Frame, Platform-Frame [20]

### 2.3.1 Balloon-Frame

U systému Balloon-Frame procházejí stěnové sloupky průběžně přes dvě či více podlaží. Spodní a horní uzavření tvoří vodorovná prkna – prahy a vaznice. Stropní nosníky jsou uloženy na stojaté fošně, která je zapuštěna do zářezů stěnových sloupků. [13]

### 2.3.2 Platform-Frame

Charakteristickým znakem je poschod'ová skladba. Plošina se během stavby využívá jako pracovní plocha a výrobní místo. Tento systém se v Severní Americe dodnes používá



pro jedno a dvoupodlažní domy. Umožňuje prefabrikaci, používání normalizovaných konstrukčních prvků a flexibilitu konstrukce i architektonického řešení. [13]

## 2.4 Rámové stavby

Nosná konstrukce je tvořena dřevěnými stojkami a sloupky v požadovaných osových vzdálenostech spojenými do pevného rámu horním a dolním prahem. Kostra přenáší svislá zatížení ze střechy a stropů, vodorovná zatížení způsobená účinky větru a výztužných sil přenáší zpravidla plášť z velkoformátových desek. Konstrukce se montuje v modulu 400, 600 nebo nejčastěji 625 mm. Pro spoje se používají mechanické spojovací prostředky. [11]



Obr. 2.5 Nosná kostra rámové stavby [21]

Dnešní rámové stavby mohou být z velké části prefabrikovány ve výrobním závodě. To umožňuje rychlou montáž na staveništi. Při navrhování konstrukčních prvků je pouze nutné brát ohled na maximální velikost jednoho prvku z důvodu jeho přepravy. Podobně jako u systému Platform-Frame se tyto stavby projektují, konstruuji, vyrábějí a montují poschodově. [13]

V Kanadě a USA jde dnes o velice užívaný konstrukční systém pro jedno až dvoupodlažní rodinné domy. Podíl těchto staveb vzrůstá také ve střední Evropě. Konstrukce je jednoduchá, hospodárná, vyznačuje se také architektonickou volností uvnitř objektu. S vhodnými úpravami lze tento typ konstrukce použít i pro vícepodlažní domy. [13]

Konečná úprava stěn může být provedena obkladem z dřevěných palubek nebo fošen, případně může být použita i štuková omítka nebo obezdění. Proto dřevěné rámové

stavby mnohdy neodpovídají běžnému typu dřevěných domů a mohou působit spíš jako zděná stavba. Obklad konstrukce z vnitřní strany tvoří sádkartonové, sádrovláknité desky nebo desky z materiálů na bázi dřeva opatřené omítkou a nátěrem. Podle využití stavby je možné navrhnout různé skladby stěn tak, aby odpovídaly tepelně technickým požadavkům. [11]

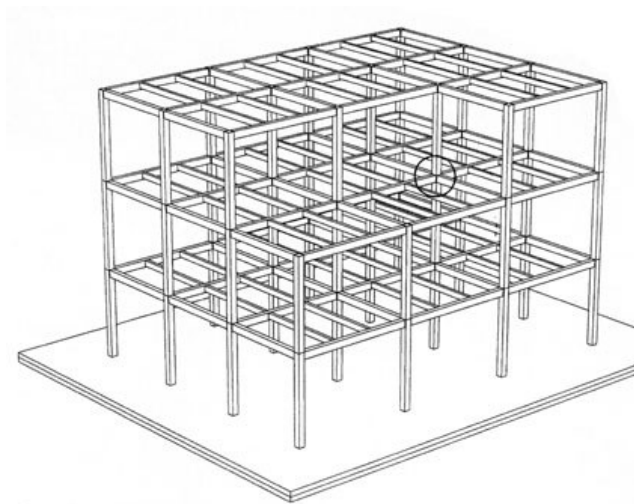


Obr. 2.6 Stavba rámové konstrukce [22]

## 2.5 Skeletové stavby

Jedná se o typ stavby, jehož nosná konstrukce je tvořena svislými sloupy, vodorovnými nosníky a výztužnými prvky v pravidelném rastru. Stropy jsou tvořeny nosníky nebo prefabrikovanými konstrukčními prvky. Stěny, rozdělující vnitřní prostor, mohou být zabudovány nezávisle na nosném skeletu, neboť nemusí přenášet žádná zatížení. Je také možné používat velkoplošná okna. Z důvodu větších rozpětí se u skeletových staveb často využívá lepené lamelové dřevo, jako spojovací prostředky se využívají ocelové prvky, čisté dřevěné spoje se používají jen výjimečně. [13]

Nosné sloupy bývají rozmístěny podle půdorysného rastru. Vzdálenosti mezi sloupy jsou zpravidla 3 až 6 m. S většími osovými vzdálenostmi prvků roste spotřeba dřeva, celkové náklady ale díky menšímu počtu cenově nákladnějších styčníků klesají. [11]



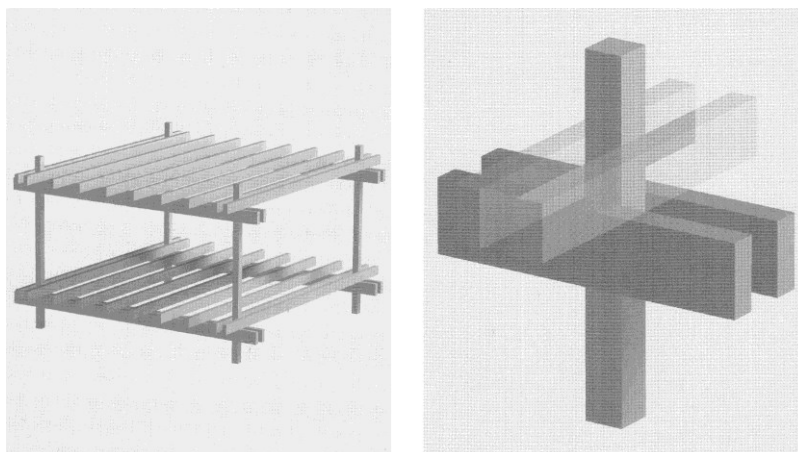
Obr. 2.7 Skeletová konstrukce [23]

Oproti rámové konstrukci u skeletové konstrukce postačuje minimální počet nosných prvků. Výhodou je tedy možnost volného vnitřního prostoru a uspořádání dělících konstrukcí bez závislosti na nosném systému. Skelet může být ponechán z interiéru i exteriéru viditelný, nebo může být z jedné nebo obou stran zakrytý. [11]

U skeletových staveb se rozlišují různé konstrukční typy. Volba konstrukčního typu závisí na architektonickém řešení, půdorysném rastru i na působících zatíženích. Nejběžnější konstrukční typy jsou dále rozebrány. [13]

### 2.5.1 Sloup a dvojitý nosník

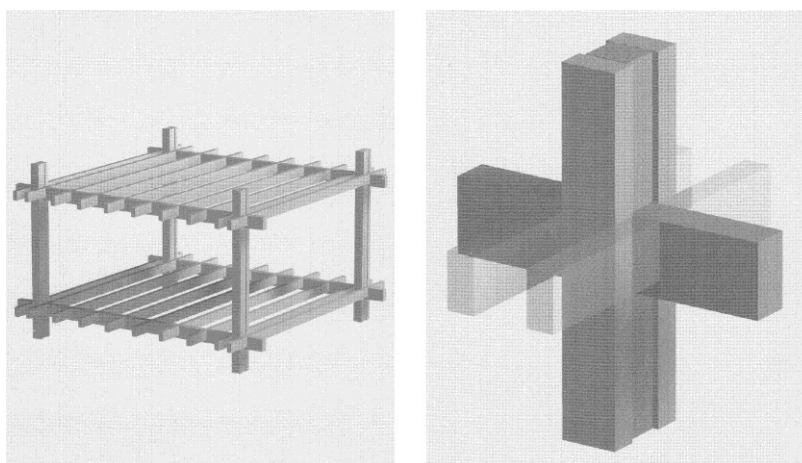
Tento konstrukční systém je tvořen z jednodílného sloupu a dvoudílného spojitého nosníku jako hlavní nosné konstrukce. Vedlejší nosná konstrukce se obvykle ukládá na hlavní nosníky, což vede k velké tloušťce stropních konstrukcí. Spoje hlavního nosníku a sloupu lze provádět pomocí přesných svorníků a šroubů, hmoždíků, plátování, lepeného sloupu, svařovaných ocelových částí nebo ocelových profilů. [13]



Obr. 2.8 Sloup a dvojitý nosník [13]

### 2.5.2 Dvojitý sloup a nosník

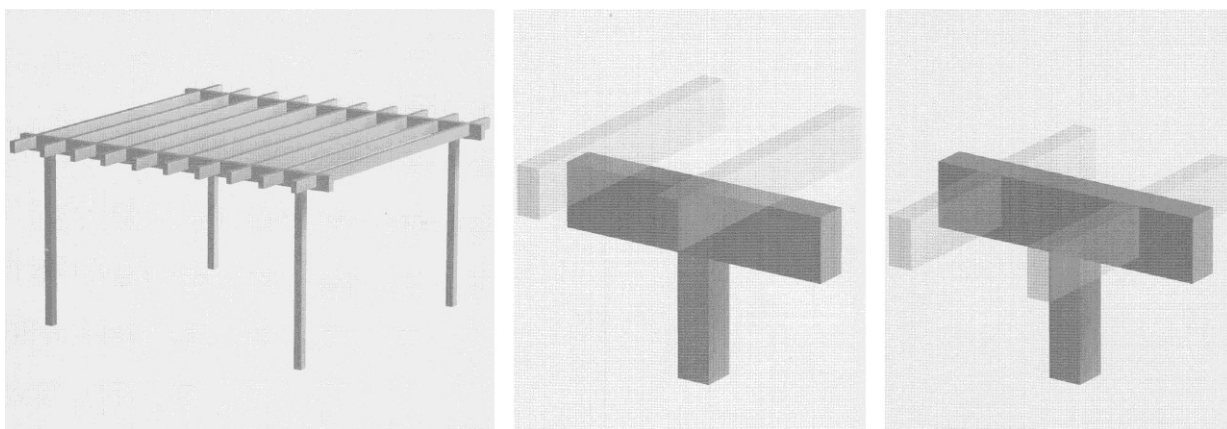
Jednodílný nosník je mechanickými spojovacími prostředky spojen s průběžným dvoudílným sloupem. Z důvodu štíhlých částí sloupu a nedostatečné požární odolnosti je často nutné zabudování vložky, kterou lze využít jako podporu pro hlavní nosník. Vedlejší nosná konstrukce může být připojena k hlavnímu nosníku ve stejné rovině, lze tedy dosáhnout menší konstrukční výšky. Svislé síly mohou být přenášeny z hlavního nosníku přes tlačené vložky, toto spojení je nutno zajistit ocelovými prvky. V případě vynechání vložky je jako spojovací prvky možné použít svorníky, šrouby, hmoždíky, svařované ocelové části nebo zapuštění do sloupu. [13]



Obr. 2.9 Dvojitý sloup a nosník [13]

### 2.5.3 Nosníky uložené na sloupech

Tento systém s jednoduchými nosníky je vhodný především pro jednopodlažní stavby s plochou střechou. Nosníky mohou být provedeny jako prosté nebo jako spojitě nosníky, na ně se shora nebo z boku montuje vedlejší nosná konstrukce. Síly jsou přenášeny přes plochu nosníku namáhanou tlakem kolmo k vláknům a čelní plochu sloupu. Jako konstrukční zajištění a pro přenos sil od zatížení větrem lze použít zárez a čepové spoje, vlepované závitové tyče, šrouby Simplex, plochou ocel se zapuštěnými plechy a svorníky nebo sedlo z tvrdého dřeva a boční příložky. [13]



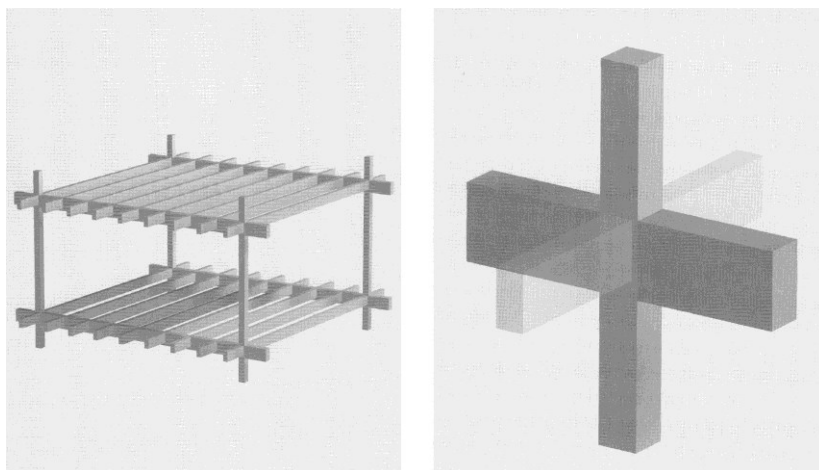
Obr. 2.10 Nosník uložený na sloupech [13]

### 2.5.4 Sloup a přilehlý nosník

Konstrukce sestává z průběžných sloupů a hlavních nosníků. Hlavní nosníky mezi sloupy působí jako prosté nosníky. Sloup a hlavní nosník jsou jednoduché. Výhodami tohoto systému je možnost připojit hlavní nosníky na sloup ze všech čtyř stran ve stejné úrovni, nosníky mohou být ovšem připojeny také v libovolné výšce. Sloup tvoří krajní ukončení nosného systému, systém je proto vhodný pro stavby, jejichž nosný skelet leží na vnitřní straně pláště budovy. Vnější stěny se na nosný skelet montují zvenčí. [13]

Hlavní nosníky se se sloupy spojují pomocí součástí z profilového plechu, příchytek nosníku, desek z ploché oceli a svorníků. Různé spojovací systémy pro připojení v jedné rovině se vyrábějí i sériově. Výhodami těchto spojů je možnost spoje zakrytého ze všech stran, rychlá montáž, vysoká únosnost a možnost normování se stanovenou únosností. [13]



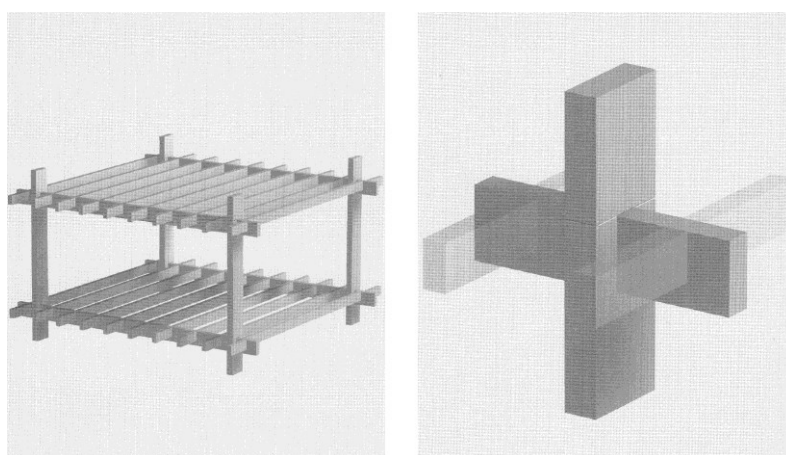


Obr. 2.11 Sloup a přilehlý nosník [13]

### 2.5.5 Vidlicový sloup

Hlavní nosnou konstrukci tvoří sloupy o výšce jednoho poschodí, na kterých jsou uloženy hlavní nosníky, které působí jako spojitý nosník. Vzájemné propojení sloupů a přenos zatížení z vyšších podlaží u vícepodlažních budov zajišťují boční vidlice. [13]

Výhodou systému je minimální sesychání po výšce budovy, protože jsou na sebe postaveny pouze podélné prvky a možnost přenosu vyšších zatížení z důvodu vyšších pevností dřeva v podélném směru oproti směru příčnému. [13]

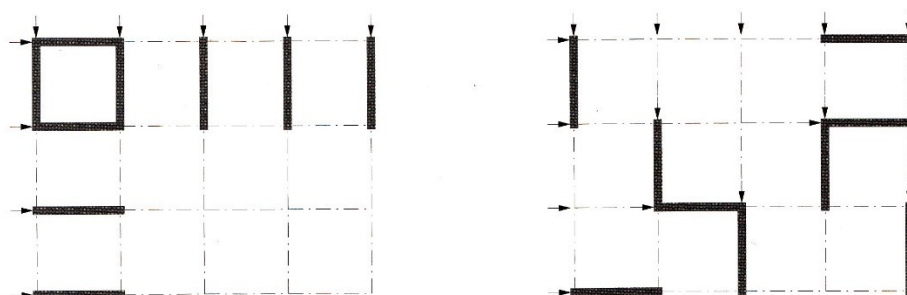


Obr. 2.12 Vidlicový sloup [13]

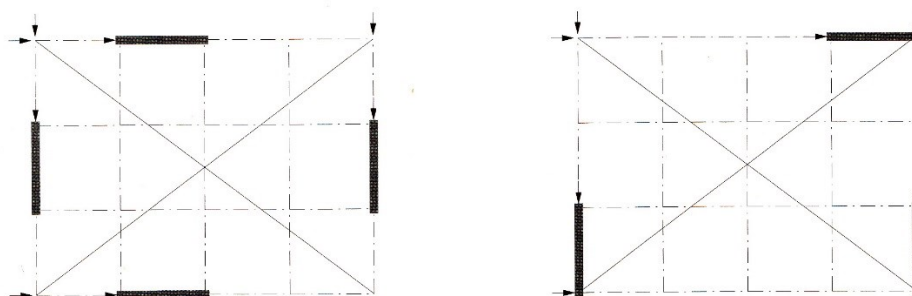
## 2.5.6 Ztužení

Aby byla zajištěna prostorová stabilita skeletových konstrukcí, je nutno ověřit, že je konstrukce schopna přenášet vodorovné síly od působení větru a výztužné síly. Výsledné síly jsou svislými výztuhami přenášeny do základů. Rozlišují se dva výztužné směry – horizontální a vertikální. Pokud se pro vyztužení uvažují pouze svislé stěny, je nutno vyztužit každou podélnou a příčnou osu. Vodorovné ztužení je potom nutné jen v rámci každého pole. Při využití ztužení i ve vodorovném směru postačí pro svislé ztužení pouze tři výztužné stěny, pokud jsou umístěny tak, aby se neprotínaly v jednom půdorysném bodě. [13]

Vodorovné ztužení ve stropní nebo střešní rovině může být tvořeno zavětrovacími pásy, diagonálami z ploché oceli nebo deskami na bázi dřeva. Svislé výztuhy mohou tvořit ocelové kříže, diagonály z rostlého dřeva, desky na bázi dřeva nebo masivní vestavby jako jsou schodiště, větrací šachty nebo požární stěny. [13]



Obr. 2.13 Příklad ztužení konstrukce jen ve svislém směru [13]



Obr. 2.14 Příklad ztužení konstrukce ve vodorovném i svislém směru [13]

## 2.6 Stavby z masivního dřeva

Konstrukční prvky většinou sestávají z masivního dřeva (lepeného, příčně lepeného, spojovaného hmoždíky nebo hřebíky), nebo také z desek na bázi dřeva (třískové nebo OSB desky). Podstatnou část tvoří uzavřený, masivní deskový průřez nebo skříňové dílce, které se sestavují do plošné konstrukce. Izolace se u těchto druhů konstrukcí osazuje na nosnou konstrukci zvenku jako vnější izolační systém. Předpokladem pro zařazení konstrukce mezi stavby z masivního dřeva je alespoň 50% masivního dřeva v nosné konstrukci. [13]

Hmotnost a spotřeba dřeva u těchto systémů je přibližně 6x vyšší než v případě lehkých dřevěných skeletů. Možné je ovšem využít také dřevo nižší kvality. Větší množství dřeva v konstrukci má také schopnost uchovávat větší množství oxidu uhličitého a tím přispívat k ochraně životního prostředí. [12]

Stavby z masivního dřeva se dělí na konstrukční systémy z plných průřezů nebo složených průřezů. Další vyztužení u těchto konstrukcí není potřeba, vodorovné síly jsou přenášeny plošnými nosnými stěnovými a stropními dílci. [13]

Konstrukční systém z masivního dřeva je vhodný i pro poschodovou výstavbu z důvodu schopnosti přenášet i vysoká zatížení. Je ovšem nutné zvolit takový systém, aby se minimalizovalo sednutí celé konstrukce. Vhodné jsou z důvodu své vysoké rozměrové stability především příčně nebo křížově lepené systémy. [13]

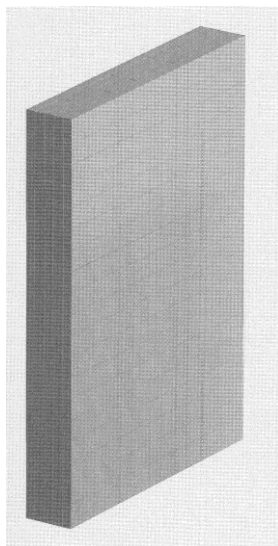
Výhodou je také skutečnost, že masivní dřevěné prvky jsou schopné odebírat vlhkost vzduchu v místnosti, vázat ji a opět odevzdávat v suchých obdobích. [13]



Obr. 2.15 Stavba z masivního dřeva [24]

### 2.6.1 Křížově slepené řezivo

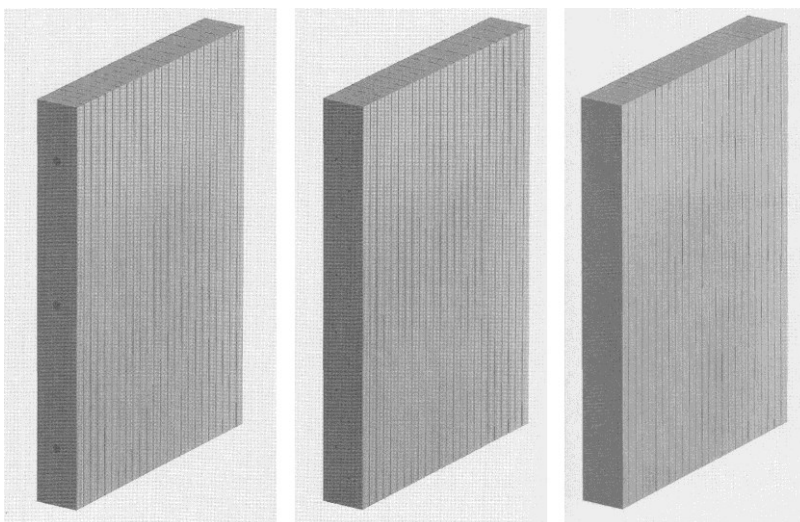
Tento systém je tvořen z několika křížově slepených vrstev prken. Pro jednotlivá prkna se používá smrkové nebo jedlové řezivo. Výsledkem je schopnost dílce přenášet zatížení v obou směrech a vysoká tvarová stálost. Je potřeba rozlišovat hlavní a vedlejší nosný směr. Tloušťky desek se běžně pohybují v rozmezí 50 až 300 mm. [13]



Obr. 2.16 Křížově slepené řezivo [13]

### 2.6.2 Vrstvené řezivo

Konstrukční dílce z vrstveného řeziva se skládají z prken – lamel v poloze na stojato, které probíhají většinou nestykované po celé délce dílce. V případě potřeby větších formátů lze prkna nastavit zubovitým spojem. Lamely mají tloušťky 20 až 50 mm. Pro přenos smykových sil a rozdělení soustředěných břemen se lamely vzájemně spojují hřebíky nebo kolíky. Obvyklé tloušťky dílců bývají 80 až 240 mm. [13]

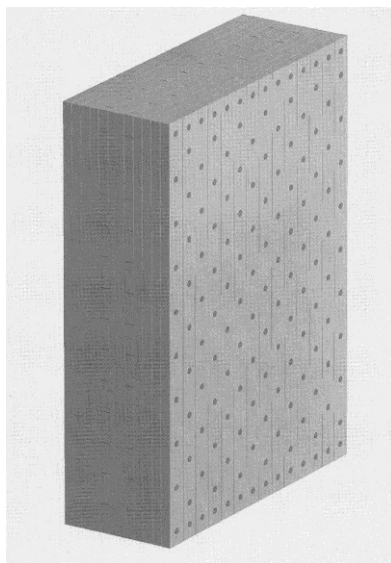


Obr. 2.17 Vrstvené řezivo, zleva: spojované kolíky, spojované hřebíky, lepené [13]

### 2.6.3 Křížově kolíkové dílce

Systém je složen z jádra o tloušťce 60 až 80 mm tvořeného ze stojatých fošen, ke kterému jsou z obou stran pomocí kolíků připojena ve více vodorovných, svislých a diagonálních vrstvách další jehličnatá prkna o tloušťkách 20 až 50 mm. Dílce lze vzhledem k jejich diagonálnímu a křížovému uspořádání použít i pro vyztužení. [13]

Tyto dílce se používají především pro stěny. Dřevo zde slouží také jako tepelná a zvuková izolace, proto jsou dílce výrazně tlustší než u jiných systémů. Tloušťka základního dílce je 150 nebo 200 mm, ten se doplňuje dřevovláknitými deskami o tloušťce 80 až 160 mm, laťováním a vnějším obkladem. [13]

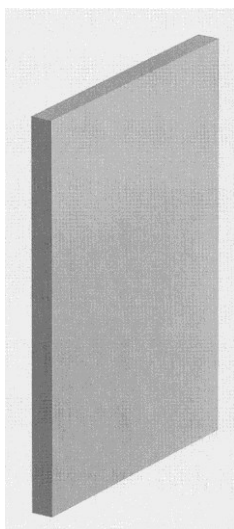


Obr. 2.18 Dílce křížově spojované kolíky [13]

#### 2.6.4 Materiály na bázi dřeva

Stěnové prvky lze vyrobit také z plošně lisovaných desek nebo OSB desek, ty lze slepovat v jedné vrstvě nebo ve více vrstvách. Plošně lisované desky mívají tloušťku 80 mm. OSB desky o tloušťce 25 mm se slepují do prvku v minimálně třech, maximálně v deseti vrstvách. [13]

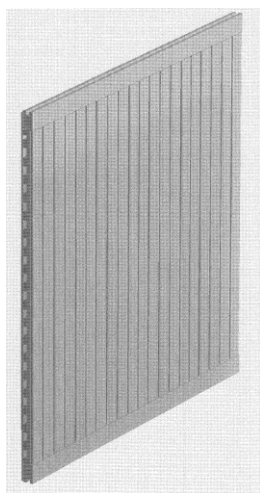
U tohoto systému se stěna na vnější straně opatřuje tepelnou izolací, mohou se použít kontaktní tepelně izolační systémy nebo zavěšené a odvětrávané fasádní konstrukce. [13]



Obr. 2.19 Prvek z materiálů na bázi dřeva [13]

#### 2.6.5 Příčné lepení s mezerami

Dílce tvoří křížově uspořádané, slepené vrstvy prken. Prkna jsou v jednotlivých vrstvách umístěna v odstupech, čím vzniká místo pro instalaci a izolační materiály. Příčné lepení zaručuje vysokou rozměrovou stálost. Dílce mohou být použity pro stěnové i stropní konstrukce. Na vnější stranu konstrukce se umísťuje tepelná izolace, odvětrání a obklad fasády.

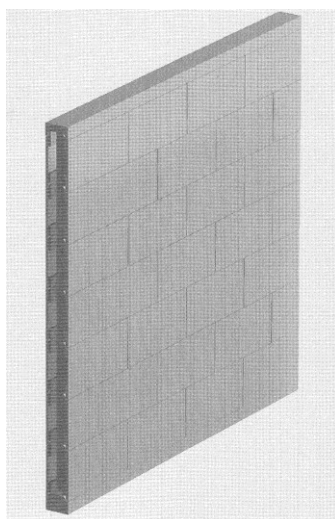


Obr. 2.20 Příčné lepení s mezerami [13]

#### 2.6.6 Dřevěný modulový-zásuvný systém

Systém vychází ze zásad stavebnice. Snadno manipulovatelné dílce malého formátu z rostlého dřeva jsou průmyslově vyráběny a pomocí speciálního spojení zasunovány do vazby v rastrovém rozměru. Tím vzniká hrubá stavba budovy. [13]

Moduly jsou vyrobeny z pěti vrstev rostlého dřeva, ve styčných plochách jsou křížově slepeny. Dutiny v modulech mohou sloužit pro technické instalace, nebo mohou být vyplněny izolačními hmotami. [13]

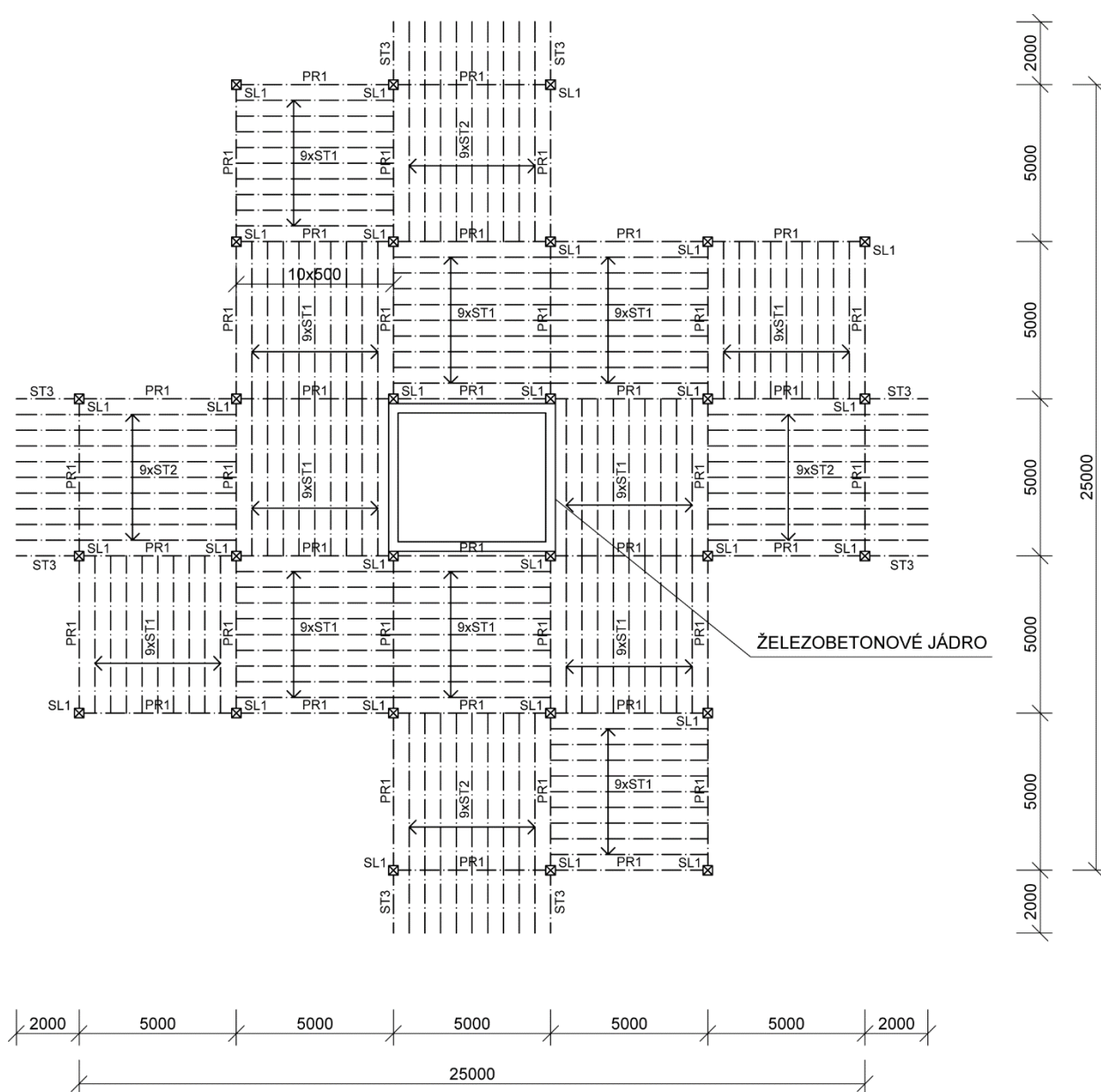


Obr. 2.21 Modulový-zásuvný systém [13]

### 3. NOSNÝ SYSTÉM

Pro nosnou konstrukci vícepodlažního domu je v dnešní době vhodné zvolit rámovou konstrukci, skeletovou konstrukci, nebo konstrukci z masivního dřeva. Z důvodů co největší prostorové variability jsem zvolila skeletovou konstrukci v rastru 5x5 m. Sloupy jsou navrženy v délce 3 m, tedy na výšku jednoho podlaží.

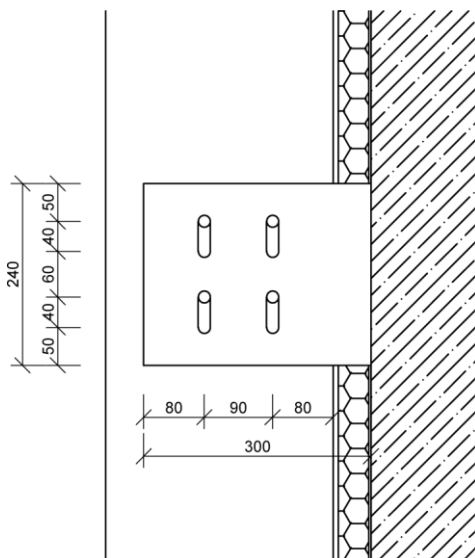
Sloupy jsou označeny písmeny SL, průvlaky písmeny PR a stropnice ST.



Obr. 3.1 Rastr nosné konstrukce s vyznačením sloupů, průvlaků a stropnic



V objektu je navrženo železobetonové jádro, které zvyšuje tuhost celé konstrukce. Vzhledem k rozdílnému chování dřeva a betonu je vhodné jádro od zbytku konstrukce dilatačně oddělit, aby byl umožněn rozdílný svislý posun konstrukcí. Spojení železobetonového jádra a zbytku konstrukce bude provedeno pomocí ocelových plechů s podélnými otvory pro svorníky.



Obr. 3.2 Připojení sloupu k železobetonovému jádru

### 3.1 Stropní konstrukce

Stropnice stropní a střešní konstrukce mají označení ST1. Délka těchto stropnic je 5 m a jsou navrženy z rostlého dřeva třídy C24. Na průvlaky jsou uloženy šachovnicově z důvodu vyšší tuhosti a menšího zatížení průvlaků. Spoj je proveden pomocí ocelového třmenu, který umožňuje uložení stropnic i průvlaků v jedné rovině a tedy minimální konstrukční výšku stropní konstrukce.

Ve výpočtu jsou řešeny dvě varianty stropní konstrukce: v první variantě jako nosná konstrukce stropu působí pouze stropnice, ve druhé variantě stropnice spřažená s OSB deskou.

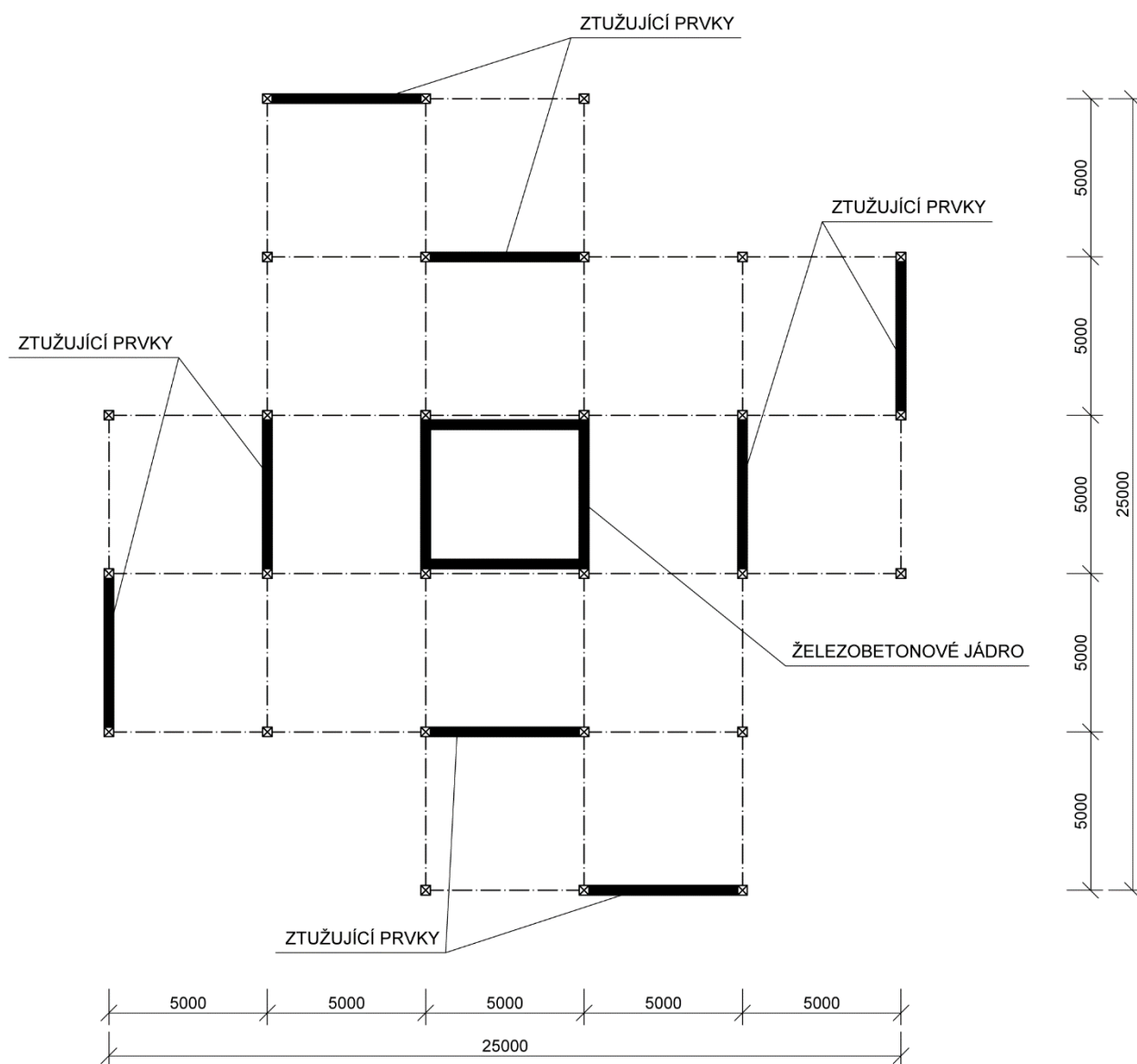
## **3.2 Konstrukce balkonu**

Konstrukce balkonu bude provedena pomocí stropnic přilehlého pole. Označení stropnic je ST2. Tyto stropnice mají délku 7 m a působí jako prostý nosník s převislým koncem. Na jednom konci bude stropnice spojena s průvlakem ve stejné rovině pomocí ocelového třmenu, druhou podporu bude tvořit průvlak, který bude snížen o výšku stropnice a ta na něj bude uložena. Tento spoj bude proveden pomocí ocelového úhelníku.

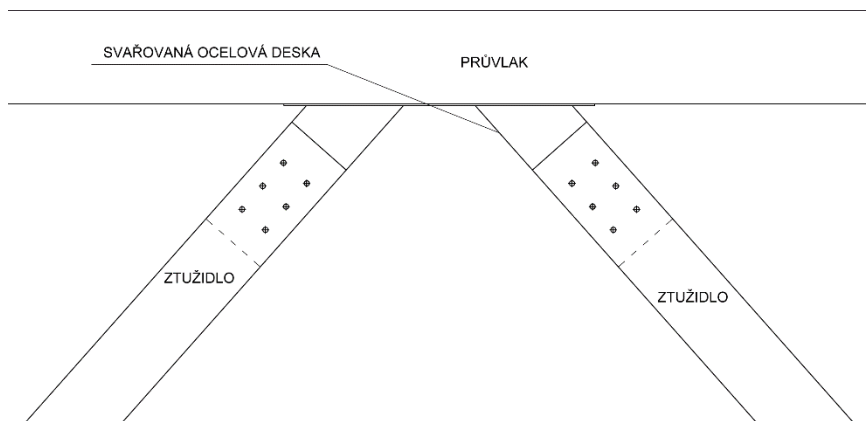
Konstrukce balkonu je doplněna o krajní stropnice ST3, které jsou stejného průřezu jako stropnice ST2. Mají pouze optickou funkci, nepřenášejí žádná zatížení. Délka těchto stropnic je 2 m, ke sloupu jsou připojeny pomocí vloženého ocelového plechu a svorníků.

## **3.3 Ztužení konstrukce**

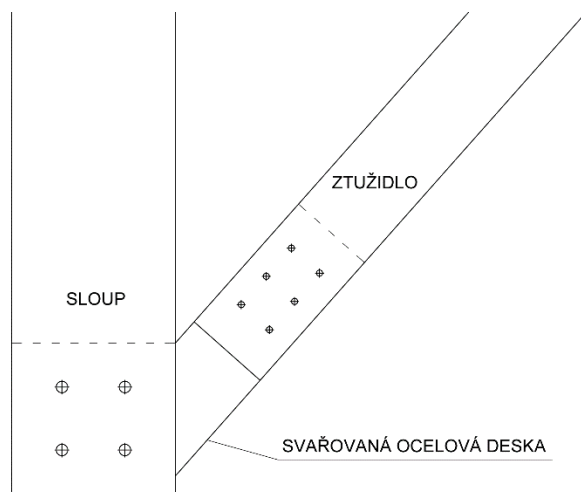
V konstrukci jsou navržena ztužidla, která zajišťují prostorovou stabilitu konstrukce a přenos vodorovných sil od účinků větru. Jako konstrukce ztužidel jsou navrženy tlačené diagonály, které jsou s ohledem na dispoziční řešení rozmístěny tak, aby byla vyztužena každá osa. K prostorové tuhosti přispívá také železobetonové jádro. Spoje ztužidel a průvlaků nebo sloupů jsou řešeny vloženými ocelovými plechy a svorníky.



Obr. 3.3 Vyznačení vertikálních ztužidel v konstrukci



Obr. 3.4 Návrh připojení ztužidel k průvlaku



Obr. 3.5 Návrh připojení ztužidla ke sloupu



## 4. DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ

Jako lokalitu pro teoretické umístění objektu jsem si zvolila město Ostrava.

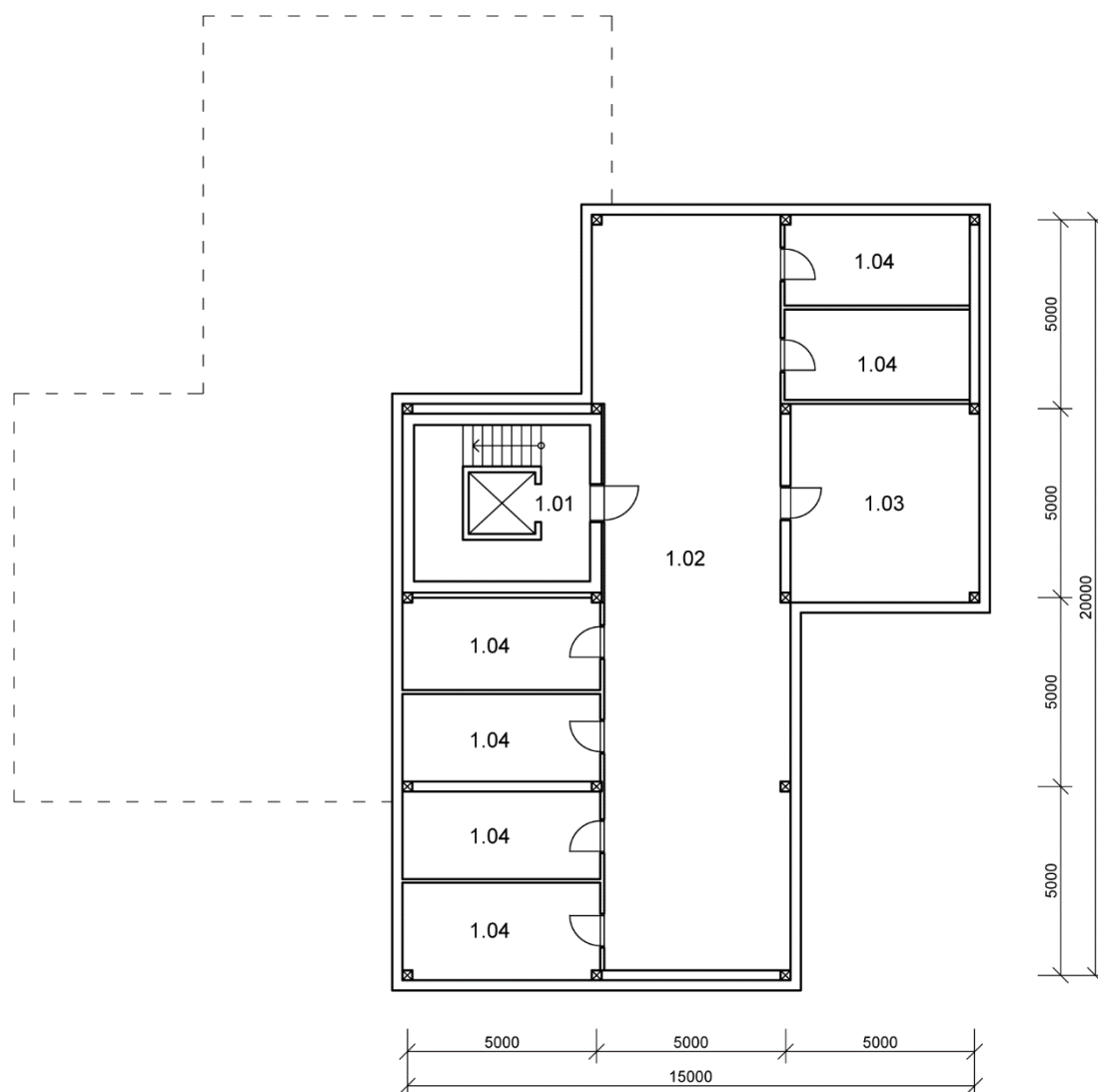
Objekt je železobetonovým jádrem rozdělen na dvě části s odlišnou výškou. Vstupní, nižší část je dvoupodlažní a je založena v rovině terénu, vyšší část je třípodlažní a je založena 1,5 m pod úrovní terénu. Ve vstupním a 1. podzemním podlaží jsou umístěny technické místnosti a sklepní prostory, ve vyšších podlažích jsou navrženy bytové jednotky. Bytů je v objektu navrženo celkem 6 v dispozicích 3+kk o ploše 100 m<sup>2</sup>.



Obr. 4.1 Vizualizace objektu

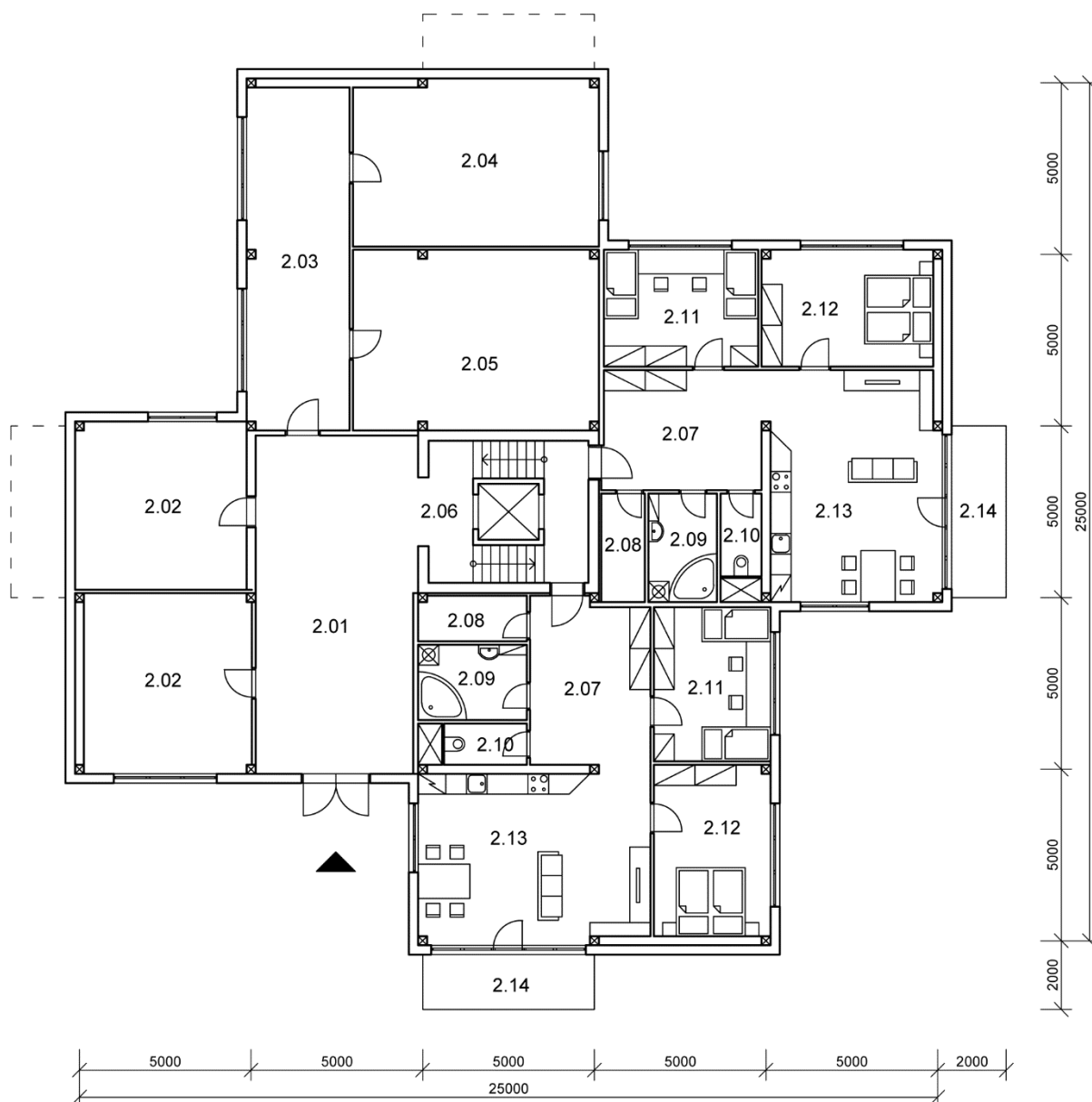


Obr. 4.2 Vizualizace objektu



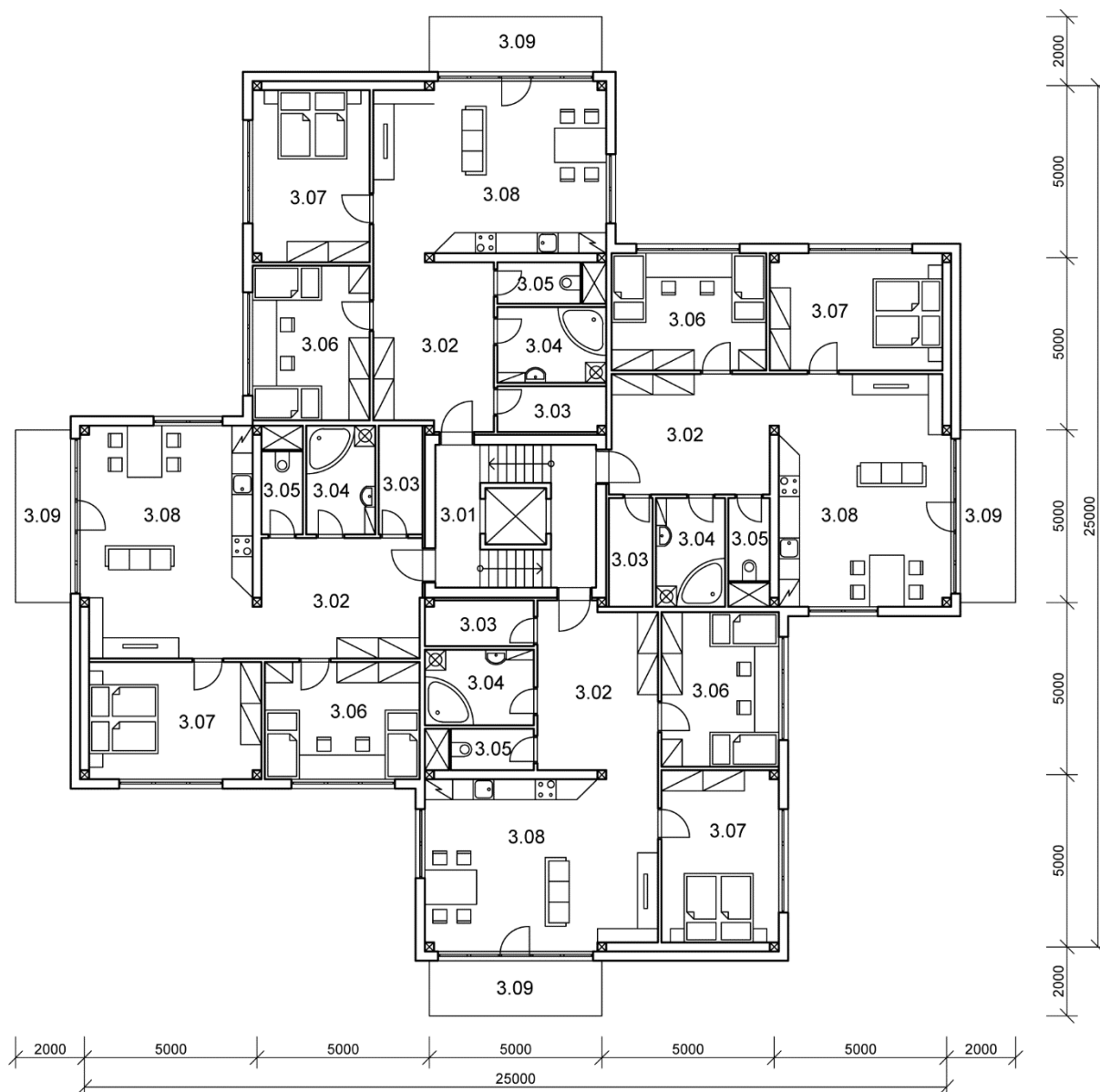
- 1.01 SCHODIŠŤOVÝ PROSTOR
- 1.02 CHODBA
- 1.03 TECHNICKÁ MÍSTNOST
- 1.04 SKLEPNÍ KÓJE

Obr. 4.3 Návrh půdorysného řešení 1. podzemního podlaží



Obr. 4.4 Návrh půdorysného řešení 1. nadzemního podlaží





- 3.01 SCHODIŠŤOVÝ PROSTOR
- 3.02 PŘEDSÍŇ
- 3.03 KOMORA
- 3.04 KOUPELNA
- 3.05 TOALETA
- 3.06 DĚTSKÝ POKOJ
- 3.07 LOŽNICE
- 3.08 OBÝVACÍ POKOJ + KUCHYŇSKÝ KOUT
- 3.09 BALKON

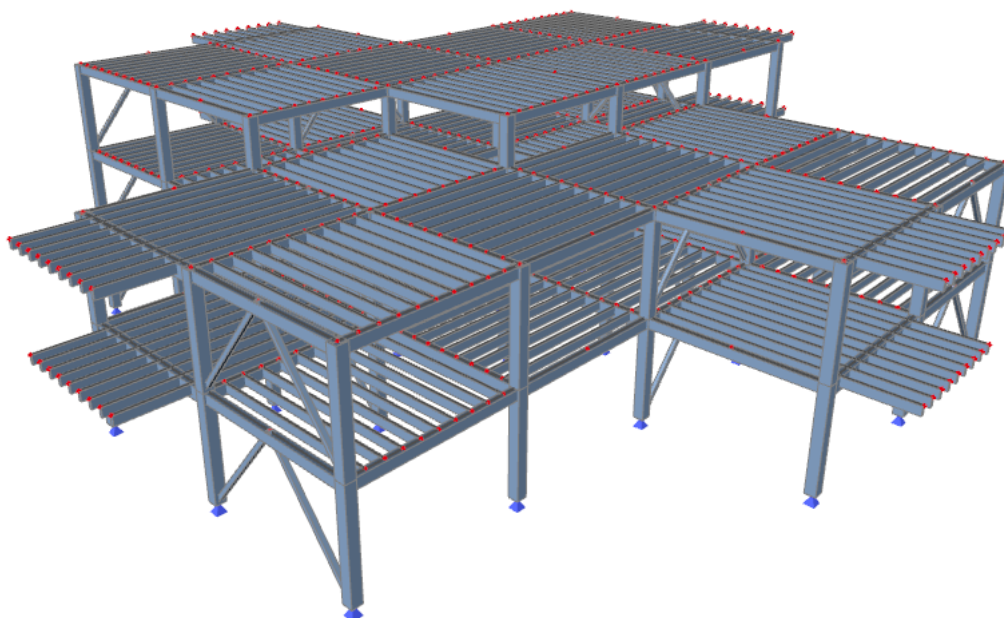
Obr. 4.5 Návrh půdorysného řešení 2. nadzemního podlaží

## 5. VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE

Výpočetní model konstrukce byl vytvořen v programu SCIA Engineer. Připojení stropnic k průvlakům je modelováno jako kloubové, stejně jako připojení průvlaků ke sloupům. Sloupy v podporách jsou připojeny také kloubově.

Pro přenos stálých a užitných zatížení do prutových konstrukcí byl využit roznos zatížení pomocí zatěžovacích panelů.

Model bylo potřeba v části konstrukce nacházející se pod povrchem terénu zatížit také tíhou od okolního štěrkového zásypu. Pro sloupy bylo příslušné zatížení vypočítáno a to pak bylo do výpočetního modelu zadáno jako lichoběžníkové zatížení.



Obr. 5.1 Prostorový model konstrukce



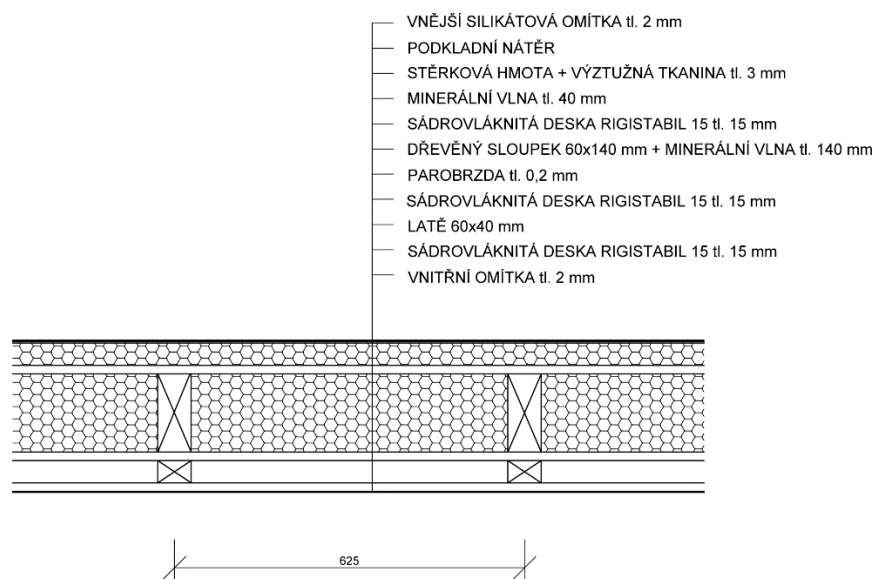
## 6. SKLADBY KONSTRUKCÍ

### 6.1 Obvodový plášť

Obvodový plášť je konstruován z nosníků z rostlého dřeva o rozměrech 60x140 mm. Osová vzdálenost mezi nosníky je 625 mm. Dílce, skládající se z nosné části s vloženou tepelnou izolací a OSB deskami po obou stranách, budou předvyrobeny a na stavbu dovezeny. Rozměr jednoho dílce je 3x5 m, tedy výška jednoho podlaží a šířka jednoho pole. Na stavbě budou dílce namontovány a doplněny o další vrstvy.

Tab. 1 Skladba obvodového pláště

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	Vnitřní omítka tl. 2 mm	2	1350	2,700	0,027
2	Sádrovláknitá deska RigiStabil 15	15	800	12,000	0,120
3	Lať 40x60 mm po 625 mm	40	350	0,840	0,008
4	Sádrovláknitá deska RigiStabil 15	15	800	12,000	0,120
5	Parobrzda Delta Luxx	0,2	-	0,150	0,002
6	Dřevěný sloupek 60x140 mm po 625 mm	140	350	49,767	0,498
7	Minerální vlna mezi sloupky 60x140 mm po 625 mm		370		
8	Sádrovláknitá deska RigiStabil 15	15	800	12,000	0,120
9	Minerální vlna tl. 40 mm	40	370	14,800	0,148
10	Stěrková hmota + Výztužná tkanina	3		6,145	0,061
11	Podkladní nátěr	-		0,180	0,002
12	Vnější silikátová omítka tl. 2 mm	2	1650	3,300	0,033
	<b>Celkem</b>	<b>272</b>		<b>113,882</b>	<b>1,139</b>



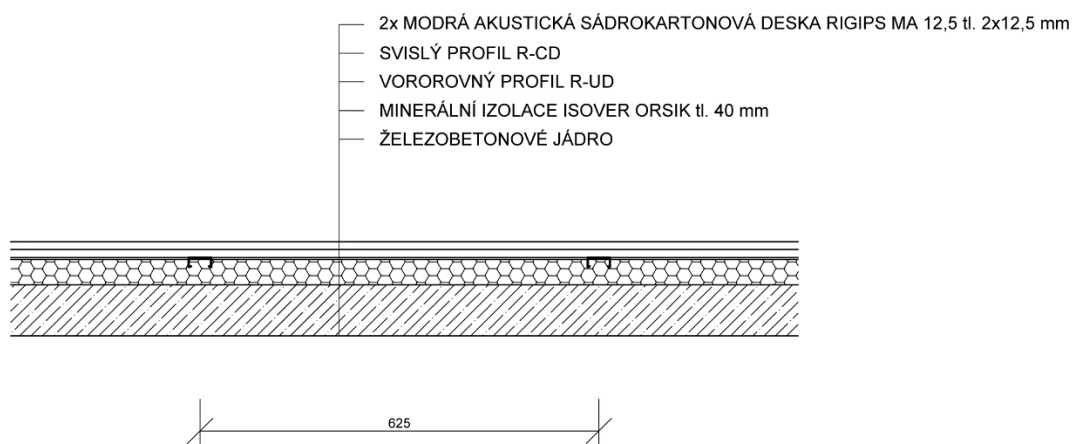
Obr. 6.1 Skladba obvodového pláště

## 6.2 Předsazená stěna spřažená s betonovým jádrem

Předsazená stěna je navržena podle podkladů společnosti Rigips, katalogové číslo systému je 3.21.00 MA. [25] Konstrukce je připevněna k betonovému jádru schodiště, které není součástí výpočtu.

Tab. 2 Skladba předsazené stěny spřažené s betonovým jádrem

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	2x modrá akustická sádrokartonová deska Rigips MA 12,5	25	960	24,000	0,240
2	Svislý profil R-CD po 625 mm	-	7850	1,507	0,015
3	Vodorovný profil R-UD	-	7850	0,065	0,001
4	Minerální izolace Isover Orsik tl. 40 mm	40	30	1,200	0,012
5	Vzduchová mezera	3	-	-	-
	<b>Celkem</b>	<b>68</b>		<b>26,772</b>	<b>0,268</b>



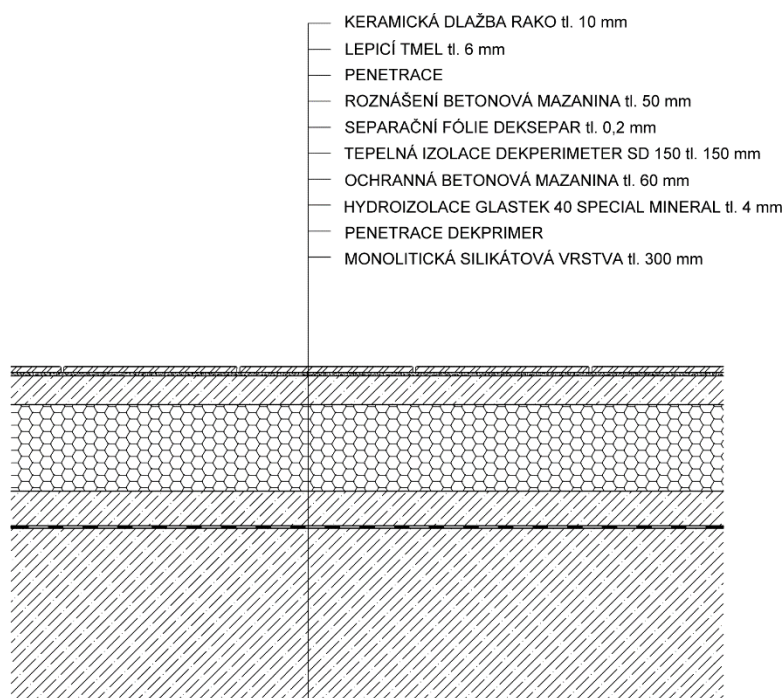
Obr. 6.2 Skladba předsazené stěny na betonovém jádru

### 6.3 Podlaha na terénu

Podlaha na terénu byla navržena podle podkladů společnosti DEK. V katalogu skladeb podlah na terénu se nachází pod označením DEKFLOOR 01. [26]

Tab. 3 Skladba podlahy na terénu

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	Keramická dlažba RAKO	10		19,266	0,193
2	Lepicí tmel	6		4,000	0,040
3	Penetrace	-	-	-	-
4	Roznášecí betonová mazanina	50	2500	125,000	1,250
5	DEKSEPAR	0,2		0,160	0,002
6	DEKPERIMETER SD 150	150	28	4,200	0,042
7	Ochranná betonová mazanina	60	2500	150,000	1,500
8	GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL	4		4,540	0,045
9	Penetrace DEKPRIMER	-	-	-	-
10	Monolitická silikátová vrstva	300	2500	750,000	7,500
	<b>Celkem</b>	<b>580</b>		<b>1057,166</b>	<b>10,572</b>



Obr. 6.3 Skladba podlahy na terénu

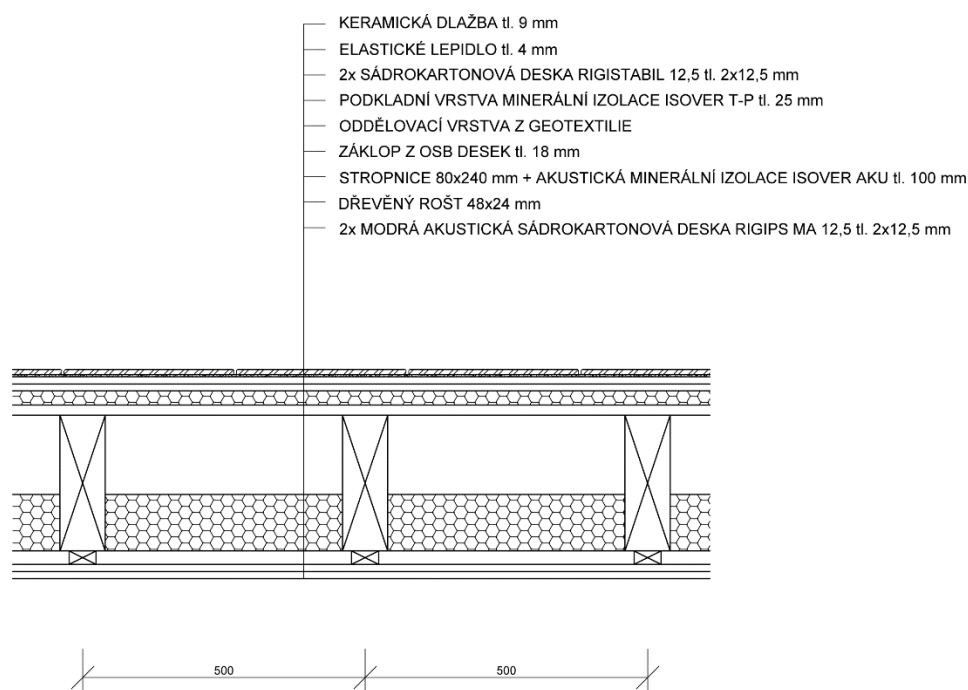
## 6.4 Stropní konstrukce

Stropní konstrukce je navržena podle podkladů společnosti Rigips, katalogové číslo systému je 7.07.00. [25] Nosnou konstrukci tvoří stropnice z rostlého dřeva v osových vzdálenostech 500 mm. Na těch je položena OSB deska. Konstrukce stropu je doplněna o izolaci zvyšující kročejovou a vzduchovou neprůzvučnost a snižující tepelnou propustnost. Z hlediska požární odolnosti je stropnice chráněna dvěma sádkartonovými deskami.



Tab. 4 Skladba stropní konstrukce

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	Keramická dlažba	9		23,056	0,231
2	Elastické lepidlo	4		6,000	0,060
3	2x sádrokartonová deska RigiStabil 12,5	25	840	21,000	0,210
4	Podkladní vrstva minerální izolace Isover T-P 25 mm	25	148	3,700	0,037
5	Oddělovací vrstva z geotextilie			0,300	0,003
6	Záklop z OSB desek	18	600	10,800	0,108
7	Stropnice 80x240 mm po 500 mm	240	350	13,440	0,134
8	Akustická minerální izolace Isover AKU	100	40	3,360	0,034
9	Dřevěný rošt 48x24 mm po 500 mm	24	350	0,806	0,008
10	2x modrá akustická sádrokartonová deska Rigips MA 12,5	25	960	24,000	0,240
	<b>Celkem</b>	<b>370</b>		<b>106,462</b>	<b>1,065</b>



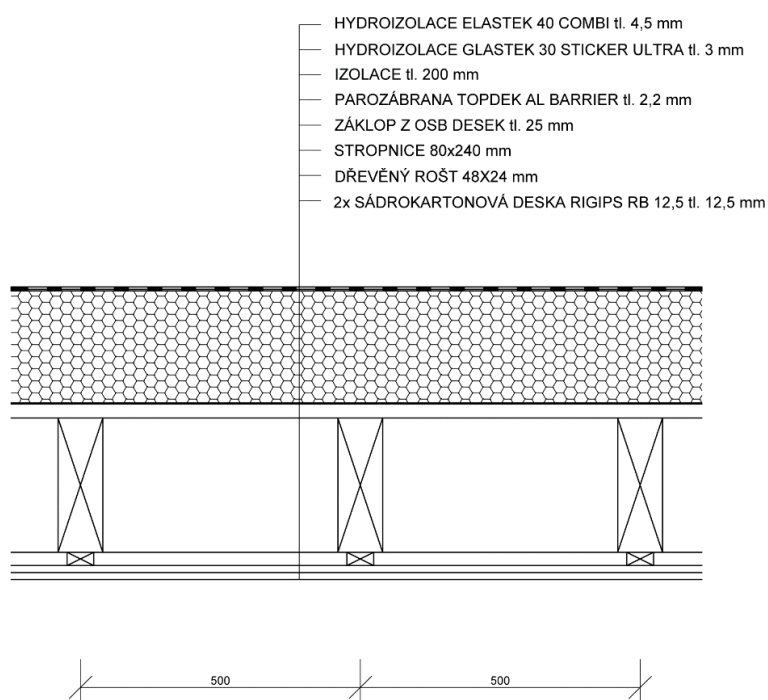
Obr. 6.4 Skladba stropní konstrukce

## 6.5 Střešní konstrukce

Střešní konstrukce je navržena podle podkladů společnosti DEK. Skladba je v katalogu zařazena pod označením DEKROOF 07-B. [26] Konstrukce střechy musí splňovat požadavky na hydroizolaci a dostatečnou tepelnou izolaci. Nosnou konstrukci tvoří nosníky z rostlého dřeva o rozměru 80x240 mm v osových vzdálenostech 500 mm. Z hlediska požární odolnosti je stropnice chráněna dvěma sádrokartonovými deskami.

Tab. 5 Skladba střešní konstrukce

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	ELASTEK 40 COMBI	4,5		5,500	0,055
2	GLASTEK 30 STICKER ULTRA	3		3,700	0,037
3	EPS 100	200	23	4,600	0,046
4	TOPDEK AL BARRIER	2,2		2,300	0,023
5	Záklop z OSB desek	25	600	15,000	0,150
6	Stropnice 80x240 mm po 500 mm	240	350	13,440	0,134
7	Latě 48x24 mm po 500 mm	24	350	0,806	0,008
8	2x sádrokartonová deska Rigips RB 12,5	25	750	18,750	0,188
	<b>Celkem</b>	<b>524</b>		<b>64,096</b>	<b>0,641</b>



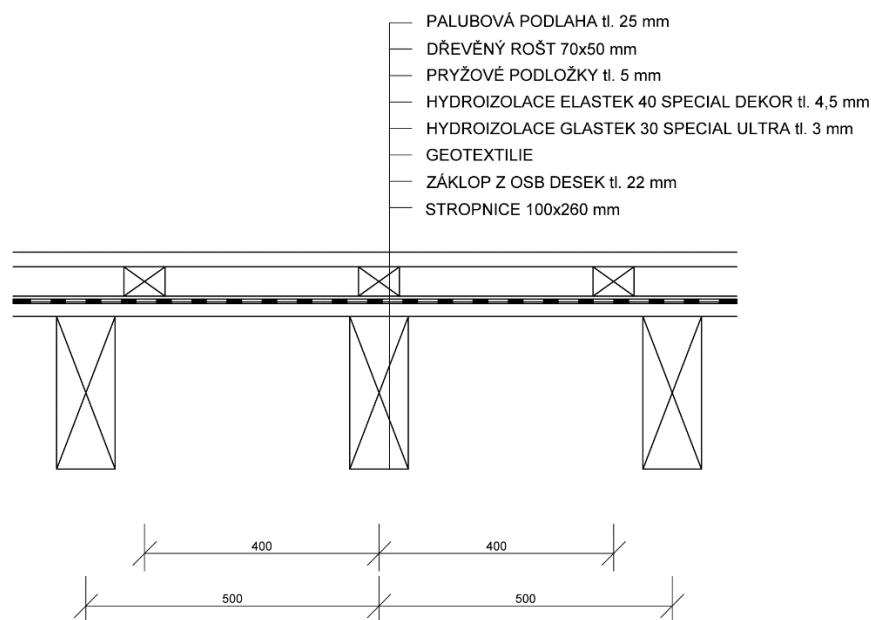
Obr. 6.5 Skladba střešní konstrukce

## 6.6 Konstrukce balkonu

Nosnou konstrukci balkonu tvoří převislé konce stropnic tvořících konstrukci přilehlého pole. Nosníky jsou navrženy z rostlého dřeva o rozměru 100x260 mm.

Tab. 6 Skladba konstrukce podlahy balkonu

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	Palubová podlaha	25	800	20,000	0,200
2	Dřevěný rošt 50x70 mm po 400 mm	50	800	7,000	0,070
3	Pryžové podložky	5	-	-	-
4	Hydroizolační vrstva ELASTEK 40 SPECIAL DEKOR	4,5	-	4,800	0,048
5	Hydroizolační vrstva GLASTEK 30 SPECIAL ULTRA	3	-	3,700	0,037
6	Geotextilie	-	-	0,100	0,001
7	OSB deska	22	600	13,200	0,132
8	Stropnice 100x260 mm po 500 mm	260	350	18,200	0,182
	<b>Celkem</b>	<b>370</b>		<b>67,000</b>	<b>0,670</b>



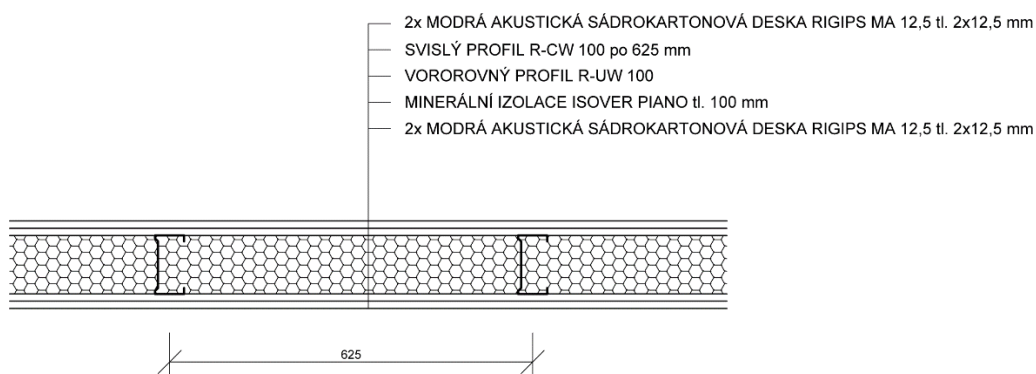
Obr. 6.6 Skladba konstrukce balkonu

## 6.7 Mezibytová příčka

Příčka je navržena podle podkladů společnosti Rigips, katalogové označení je 3.40.06 MA. [25]

Tab. 7 Skladba mezibytové příčky

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	2x modrá akustická sádrokartonová deska Rigips MA 12,5	25	960	24,000	0,240
2	Svislý profil R-CW 100 po 625 mm	100	7850	1,507	0,015
3	Vodorovný profil R-UW 100	100	7850	0,565	0,006
4	Minerální izolace Isover Piano tl. 100 mm	100	15	1,500	0,015
5	2x modrá akustická sádrokartonová deska Rigips MA 12,5	25	960	24,000	0,240
	<b>Celkem</b>	<b>150</b>		<b>51,572</b>	<b>0,516</b>



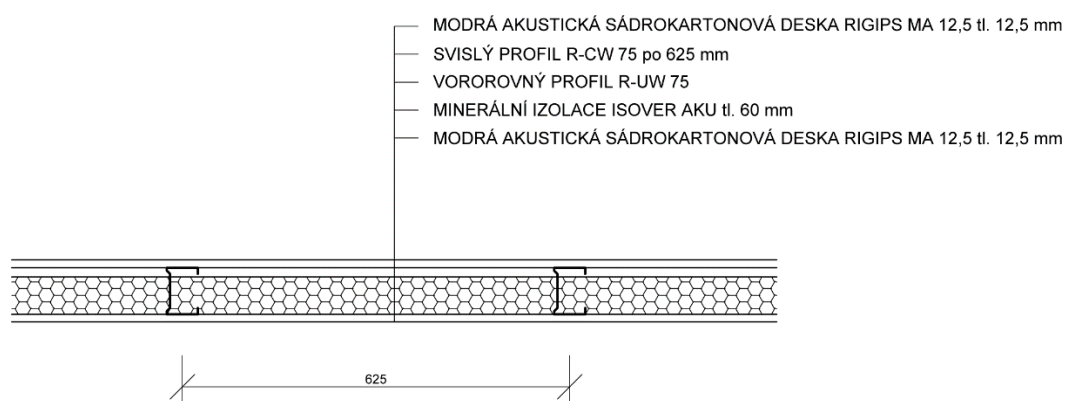
Obr. 6.7 Skladba mezibytové příčky

## 6.8 Bytová příčka

Bytová příčka je navržena podle podkladů společnosti Rigips, katalogové označení je 3.40.02 MA. [25]

Tab. 8 Skladba bytové příčky

Pořadí	Materiál	Tloušťka	Objemová hmotnost	Plošná hustota	
		[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
1	Modrá akustická sádrokartonová deska Rigips MA 12,5	12,5	960	12,000	0,120
2	Svislý profil R-CW 75 po 625 mm	75	7850	1,319	0,013
3	Vodorovný profil R-UW 75	75	7850	0,487	0,005
4	Minerální izolace Isover AKU tl. 60 mm	60	40	2,400	0,024
5	Modrá akustická sádrokartonová deska Rigips MA 12,5	12,5	960	12,000	0,120
	<b>Celkem</b>	<b>100</b>		<b>28,206</b>	<b>0,282</b>



Obr. 6.8 Skladba bytové příčky



## 7. ZATÍŽENÍ

### 7.1 Stálé zatížení

Výpočet stálých zatížení byl proveden dle ČSN EN 1991-1-1. [4]

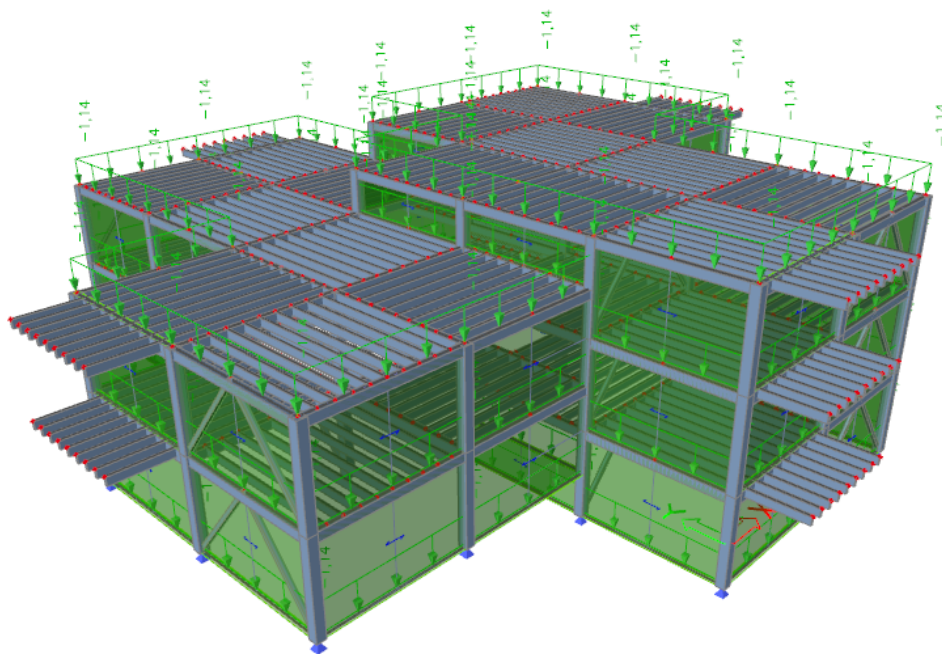
Bezpečnostní součinitel pro stálá zatížení:  $\gamma_G = 1,5$

#### 7.1.1 Zatížení od vlastní tíhy obvodového pláště

Plošná hmotnost pláště:  $\rho = 113,882 \text{ kg/m}^2$

Charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení:  $g_k = 1,139 \text{ kN/m}^2$

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:  $g_d = \gamma_G * g_k = 1,35 * 1,139 =$   
 $= 1,537 \text{ kN/m}^2$



Obr. 7.1 Zatížení tíhou obvodového pláště



### 7.1.2 Zatížení od vlastní tíhy stropní konstrukce

Plošná hmotnost stropní konstrukce:

$$\rho = 106,462 \text{ kg/m}^2$$

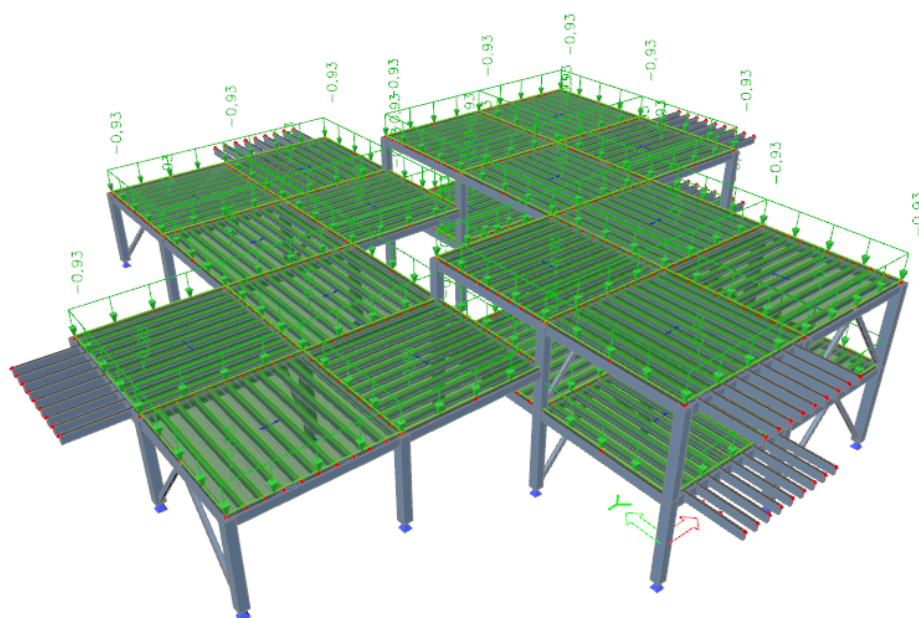
Charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_k = 1,065 \text{ kN/m}^2$$

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_d = \gamma_G * g_k = 1,35 * 1,065 = \\ = 1,437 \text{ kN/m}^2$$

Velikost zatížení zadávaného do výpočetního modelu je snížena o vlastní tíhu stropnice, se kterou program počítá automaticky. Do výpočetního programu je tedy zadána velikost stálého zatížení od vlastní tíhy stropní konstrukce  $g_k = 0,93 \text{ kN/m}^2$ .



Obr. 7.2 Zatížení vlastní tíhou stropní konstrukce

### 7.1.3 Zatížení od vlastní tíhy střešní konstrukce

Plošná hmotnost střešní konstrukce:

$$\rho = 64,096 \text{ kg/m}^2$$

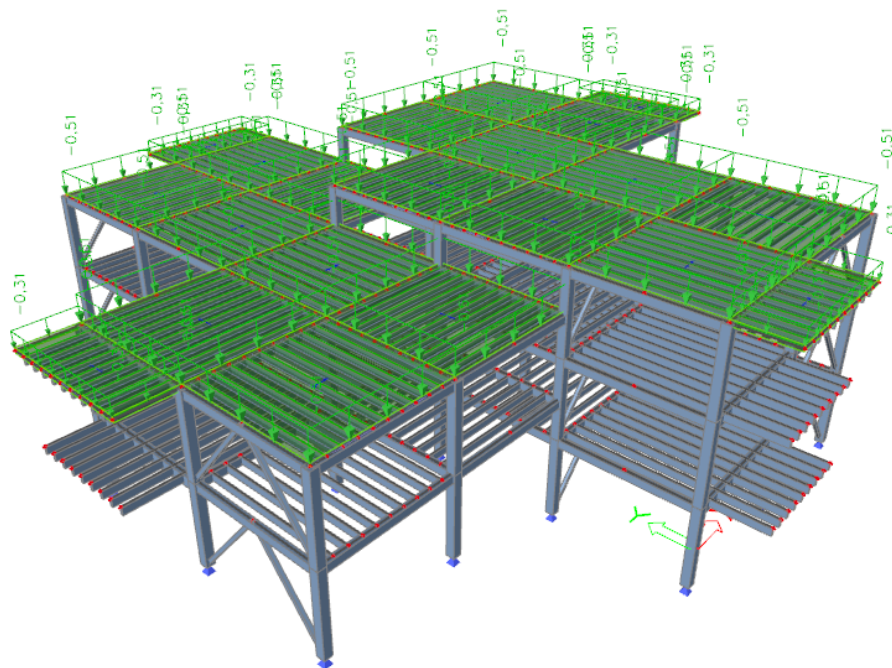
Charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_k = 0,641 \text{ kN/m}^2$$

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_d = \gamma_G * g_k = 1,35 * 0,641 = \\ = 0,865 \text{ kN/m}^2$$

Velikost zatížení zadávaného do výpočetního modelu je snížena o vlastní tíhu stropnice, se kterou program počítá automaticky. Do výpočetního programu je tedy zadána velikost stálého zatížení od vlastní tíhy střešní konstrukce  $g_k = 0,507 \text{ kN/m}^2$ .



Obr. 7.3 Zatížení vlastní tíhou střešní konstrukce

#### 7.1.4 Zatížení od vlastní tíhy konstrukce balkonu

Plošná hmotnost konstrukce balkonu:

$$\rho = 67,000 \text{ kg/m}^2$$

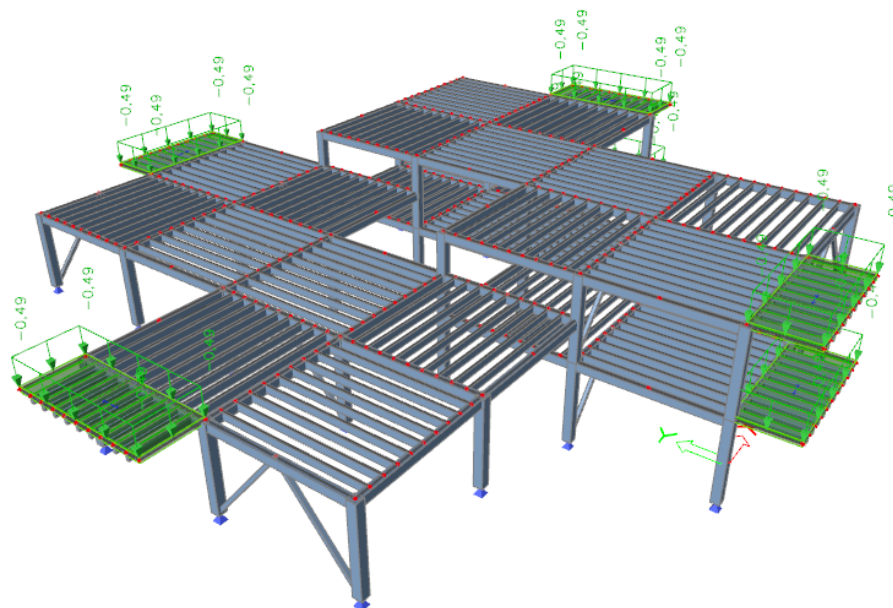
Charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_k = 0,670 \text{ kN/m}^2$$

Návrhová hodnota rovnoměrného zatížení:

$$g_d = \gamma_G * g_k = 1,35 * 0,670 = \\ = 0,905 \text{ kN/m}^2$$

Velikost zatížení zadávaného do výpočetního modelu je snížena o vlastní tíhu stropnice, se kterou program počítá automaticky. Do výpočetního programu je tedy zadána velikost stálého zatížení od vlastní tíhy konstrukce balkonu  $g_k = 0,488 \text{ kN/m}^2$ .



Obr. 7.4 Zatížení vlastní tíhou konstrukce balkonu

#### 7.1.5 Zatížení od mezibytových příček

Plošná hmotnost příčky:

$$\rho = 51,572 \text{ kg/m}^2$$

Rovnoměrné zatížení:

$$g_k = 0,516 \text{ kN/m}^2$$

Výška příčky:

$$h = 3 \text{ m}$$

Rovnoměrné zatížení:

$$g_k = h * g_k = 1,547 \text{ kN/m}^2 \leq 2 \text{ kN/m}^2$$

Dle normy ČSN EN 1991-1-1 [4] lze příčky o vlastní tíze do  $2 \text{ kN/m}^2$  uvažovat jako rovnoměrné užitné zatížení o hodnotě  $q_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$ .

#### 7.1.6 Zatížení od bytových příček

Plošná hmotnost příčky:

$$\rho = 28,206 \text{ kg/m}^2$$

Rovnoměrné zatížení:

$$g_k = 0,282 \text{ kN/m}^2$$

Výška příčky:

$$h = 3 \text{ m}$$

Rovnoměrné zatížení:

$$g_k = h * g_k = 0,846 \text{ kN/m}^2 \leq 1 \text{ kN/m}^2$$

Dle normy ČSN EN 1991-1-1 [4] lze příčky o vlastní tíze do  $1 \text{ kN/m}^2$  uvažovat jako rovnoměrné užité zatížení o hodnotě  $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

## 7.2 Užité zatížení

Výpočet užitných zatížení byl proveden dle ČSN EN 1991-1-1. [4]

Bezpečnostní součinitel pro užité zatížení:  $\gamma_Q = 1,5$

### 7.2.1 Zatížení střechy

#### Rovnoměrné zatížení

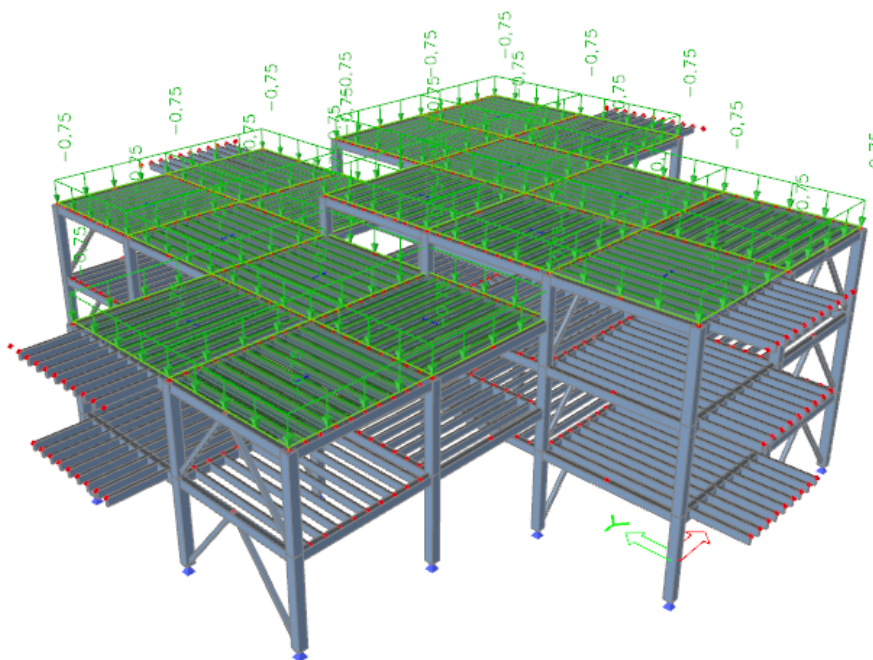
Charakteristická hodnota daná normou:  $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Návrhová hodnota:  $q_d = q_k * \gamma_Q = 0,75 * 1,5 = 1,125 \text{ kN/m}^2$

#### Bodová síla

Charakteristická hodnota daná normou:  $Q_k = 1,0 \text{ kN}$

Návrhová hodnota:  $Q_d = Q_k * \gamma_Q = 1,0 * 1,5 = 1,5 \text{ kN}$



Obr. 7.5 Zatížení střechy rovnoměrným užitným zatížením

### 7.2.2 Zatížení balkonu

#### Rovnoměrné zatížení

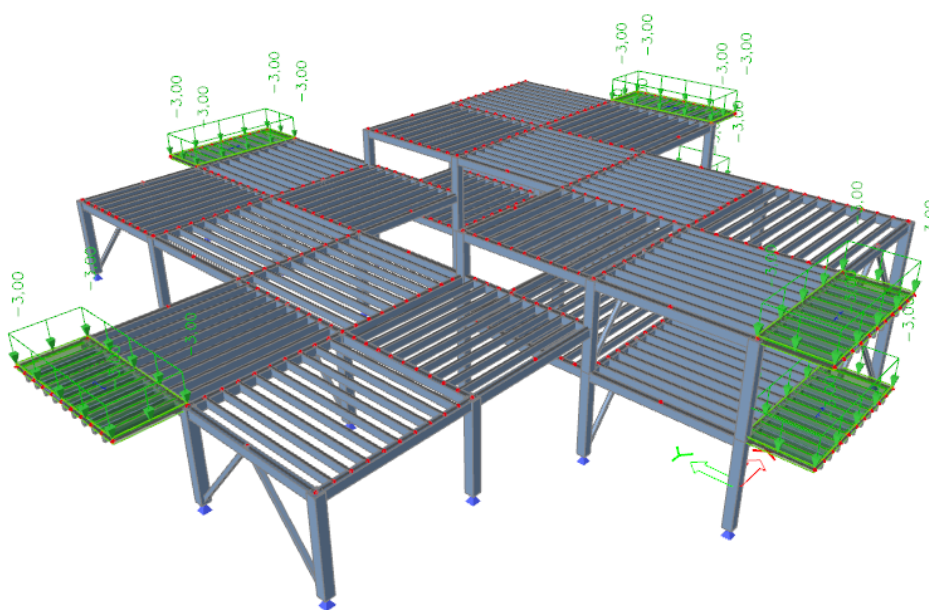
Charakteristická hodnota daná normou:  $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Návrhová hodnota:  $q_d = q_k * \gamma_Q = 3,0 * 1,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$

#### Bodová síla

Charakteristická hodnota daná normou:  $Q_k = 2,0 \text{ kN}$

Návrhová hodnota:  $Q_d = Q_k * \gamma_Q = 2,0 * 1,5 = 3 \text{ kN}$



Obr. 7.6 Zatížení balkonu rovnoměrným užitným zatížením

### 7.2.3 Zatížení schodiště

#### Rovnoměrné zatížení

Charakteristická hodnota daná normou:  $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Návrhová hodnota:  $q_d = q_k * \gamma_Q = 3,0 * 1,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$

#### Bodová síla

Charakteristická hodnota daná normou:  $Q_k = 2,0 \text{ kN}$

Návrhová hodnota:  $Q_d = Q_k * \gamma_Q = 2,0 * 1,5 = 3 \text{ kN}$



Schodiště je navrženo jako součást železobetonového jádra, jeho výpočet není součástí této práce.

#### 7.2.4 Zatížení stropu

##### Rovnoměrné zatížení

Charakteristická hodnota daná normou:  $q_{k,s} = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Zatížení od mezibytových příček:  $q_{k,mp} = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Zatížení od bytových příček:  $q_{k,bp} = 0,5 \text{ kN/m}^2$

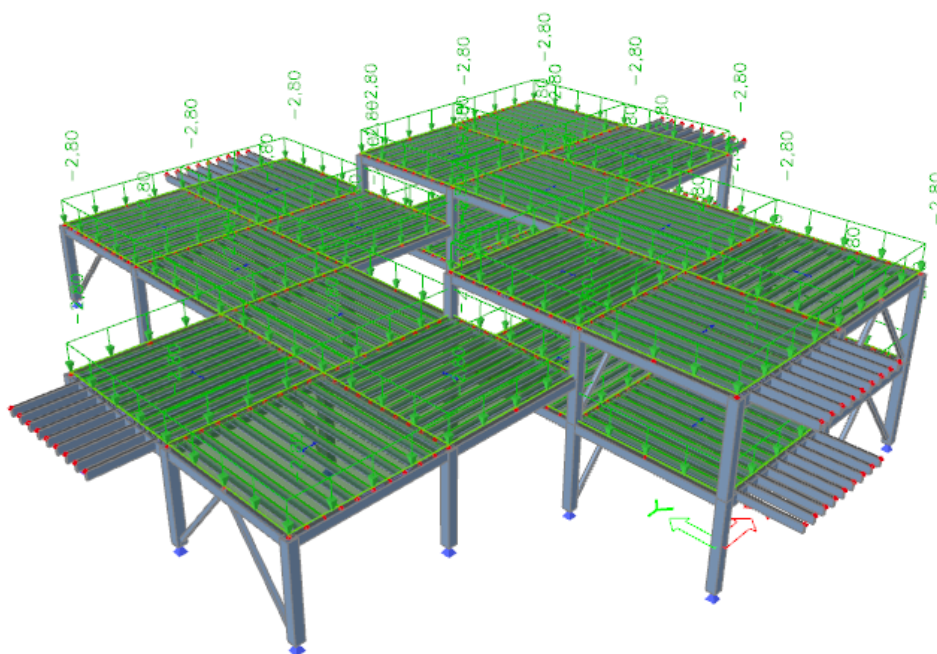
Charakteristická hodnota užitečného zatížení:  $q_k = q_{k,s} + q_{k,mp} + q_{k,bp} =$   
 $= 1,5 + 0,8 + 0,5 = 2,8 \text{ kN/m}^2$

Návrhová hodnota užitečného zatížení:  $q_d = q_k * \gamma_Q = 2,8 * 1,5 = 4,2 \text{ kN/m}^2$

##### Bodová síla

Charakteristická hodnota daná normou:  $Q_k = 2,0 \text{ kN}$

Návrhová hodnota:  $Q_d = Q_k * \gamma_Q = 2,0 * 1,5 = 3 \text{ kN}$



Obr. 7.7 Zatížení stropu rovnoměrným užitečným zatížením

### 7.2.5 Přehled působících zatížení

Tab. 9 Přehled rovnoměrných užitných zatížení

	Charakteristická hodnota [kN/m <sup>2</sup> ]	Návrhová hodnota [kN/m <sup>2</sup> ]
Zatížení střechy	0,75	1,125
Zatížení balkonu	3	4,5
Zatížení schodiště	3	4,5
Zatížení stropu	2,8	4,2

Tab. 10 Přehled zatížení bodovou silou

	Charakteristická hodnota [kN]	Návrhová hodnota [kN]
Zatížení střechy	1	1,5
Zatížení balkonu	2	3
Zatížení schodiště	2	3
Zatížení stropu	2	3

## 7.3 Zatížení větrem

Vzhledem k odlišným výškám obou částí konstrukce bylo zatížení větrem na konstrukci počítáno odděleně pro vyšší i nižší část objektu. Výpočet zatížení větrem byl proveden dle ČSN EN 1991-1-4. [7]

### 7.3.1 Vstupní hodnoty

Šířka budovy:  $b = 25 \text{ m}$

Délka budovy:  $d = 25 \text{ m}$

Větrná oblast: II

Kategorie terénu: III

Výchozí základní rychlost větru:  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Součinitel směru:  $c_{dir} = 1$

Součinitel ročního období:	$c_{season} = 1$
Minimální výška:	$z_{min} = 5 \text{ m}$
Maximální výška:	$z_{max} = 200 \text{ m}$
Parametr drsnosti terénu:	$z_{0,II} = 0,05$
	$z_0 = 0,3$
Součinitel ortografie:	$c_0(z) = 1,0$
Součinitel turbulence:	$k_I = 1,0$
Měrná hmotnost vzduchu:	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

### 7.3.2 Vyšší část budovy

Výška budovy:	$h = 7,5 \text{ m}$
Základní rychlost větru:	$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season} = 25,0 * 1,0 * 1,0 = 25,0 \text{ m/s}$
Součinitel terénu:	$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$
Součinitel drsnosti:	$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 * \ln\left(\frac{7,5}{0,3}\right) = 0,693$
Střední rychlost větru:	$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,693 * 1,0 * 25,0 = 17,33 \text{ m/s}$
Směrodatná odchylka turbulence:	$\sigma_v = k_r * v_b * k_I = 0,215 * 25,0 * 1,0 = 5,385$
Intenzita turbulence:	$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,385}{17,33} = 0,311$
Maximální dynamický tlak:	$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0,311] * \frac{1}{2} * 1,25 * 17,33^2 = 0,596 \text{ kPa}$
Základní dynamický tlak větru:	$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25,0^2 = 0,391 \text{ kPa}$



Součinitel expozice:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{0,596}{0,391} = 1,526$$

Referenční výška:

$$h \leq b$$

$$7,5 \leq 25,0$$

$$z_e = h = 7,5 \text{ m}$$

Vnitřní součinitele tlaku:

$$c_{pi}^+ = 0,2$$

$$c_{pi}^- = -0,3$$

Tlak větru:

$$w^{i+} = q_p * (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$$

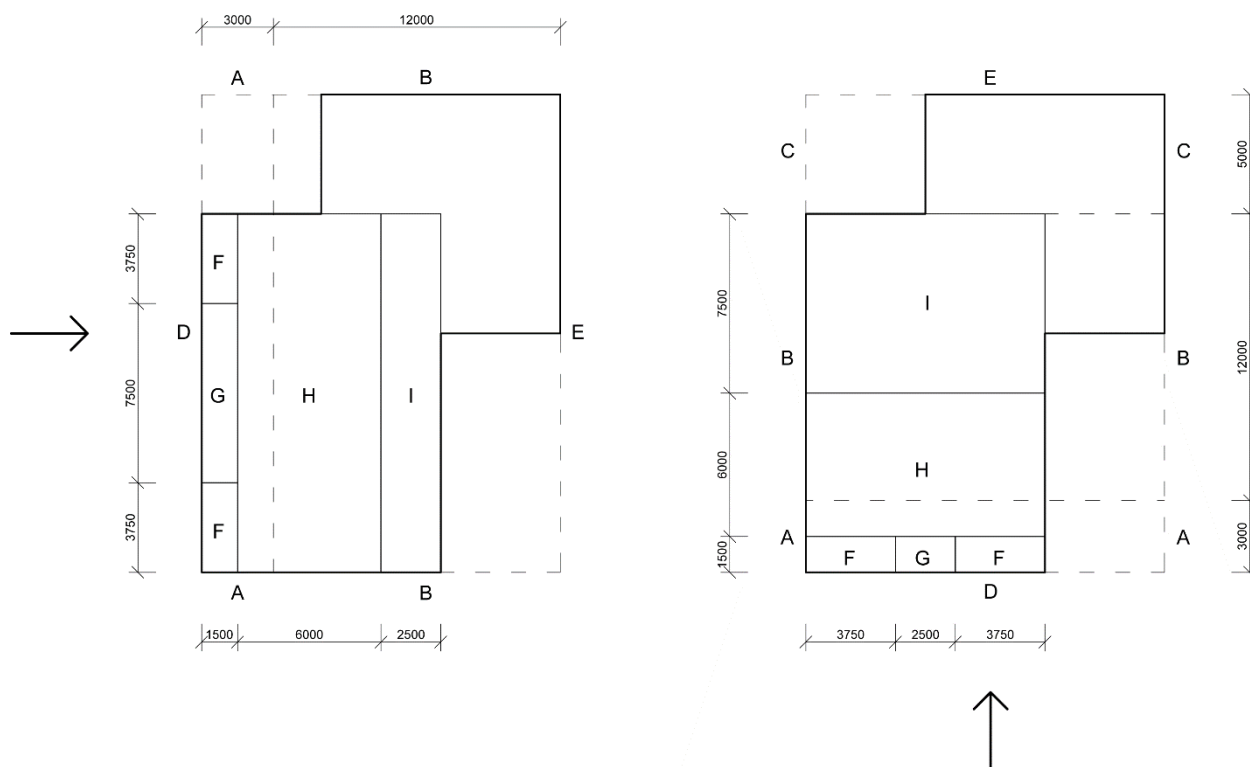
$$w^{i-} = q_p * (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$$

Tab. 11 Tlaky větru na svislé stěny vyšší části budovy

Vnější součinitel tlaku		tlak větru			
		$w^{i+} [kN/m^2]$		$w^{i-} [kN/m^2]$	
$cpe_{10}^A$	-1,2	$w^{A+}$	-0,835	$w^{A-}$	-0,536
$cpe_{10}^B$	-0,8	$w^{B+}$	-0,596	$w^{B-}$	-0,298
$cpe_{10}^C$	-0,5	$w^{C+}$	-0,417	$w^{C-}$	-0,119
$cpe_{10}^D$	0,707	$w^{D+}$	0,302	$w^{D-}$	0,600
$cpe_{10}^E$	-0,310	$w^{E+}$	-0,304	$w^{E-}$	-0,006

Tab. 12 Tlaky větru na střechu vyšší části budovy

Vnější součinitel tlaku		tlak větru			
		$w^{i+} [kN/m^2]$		$w^{i-} [kN/m^2]$	
$cpe_{10}^F$	-1,8	$w^{F+}$	-1,192	$w^{F-}$	-0,894
$cpe_{10}^G$	-1,2	$w^{G+}$	-0,835	$w^{G-}$	-0,536
$cpe_{10}^H$	-0,7	$w^{H+}$	-0,536	$w^{H-}$	-0,238
$cpe_{10}^{I+}$	0,2	$w^{I++}$	0,000	$w^{I\mp}$	0,298
$cpe_{10}^{I-}$	-0,2	$w^{I+-}$	-0,238	$w^{I--}$	0,060



Obr. 7.8 Zatížení větrem pro vyšší část budovy

### 7.3.3 Nižší část budovy

Výška budovy:

$$h = 6 \text{ m}$$

Základní rychlost větru:

$$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season} = 25,0 * 1,0 * 1,0 = 25,0 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 * \ln\left(\frac{6}{0,3}\right) = 0,645$$

Střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,645 * 1,0 * 25,0 = 16,13 \text{ m/s}$$

Směrodatná odchylka turbulence:

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_I = 0,215 * 25,0 * 1,0 = 5,385$$

Intenzita turbulence:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,385}{16,13} = 0,334$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) =$$

$$= [1 + 7 * 0,334] * \frac{1}{2} * 1,25 * 16,13^2 =$$

$$= 0,543 \text{ kPa}$$

Základní dynamický tlak větru:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25,0^2 = 0,391 \text{ kPa}$$

Součinitel expozice:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{0,543}{0,391} = 1,389$$

Referenční výška:

$$h \leq b$$

$$6,0 \leq 25,0$$

$$z_e = h = 6,0 \text{ m}$$

Vnitřní součinitele tlaku:

$$c_{pi}^+ = 0,2$$

$$c_{pi}^- = -0,3$$

Tlak větru:

$$w^{i+} = q_p * (c_{pe,10}^i - c_{pi}^+)$$

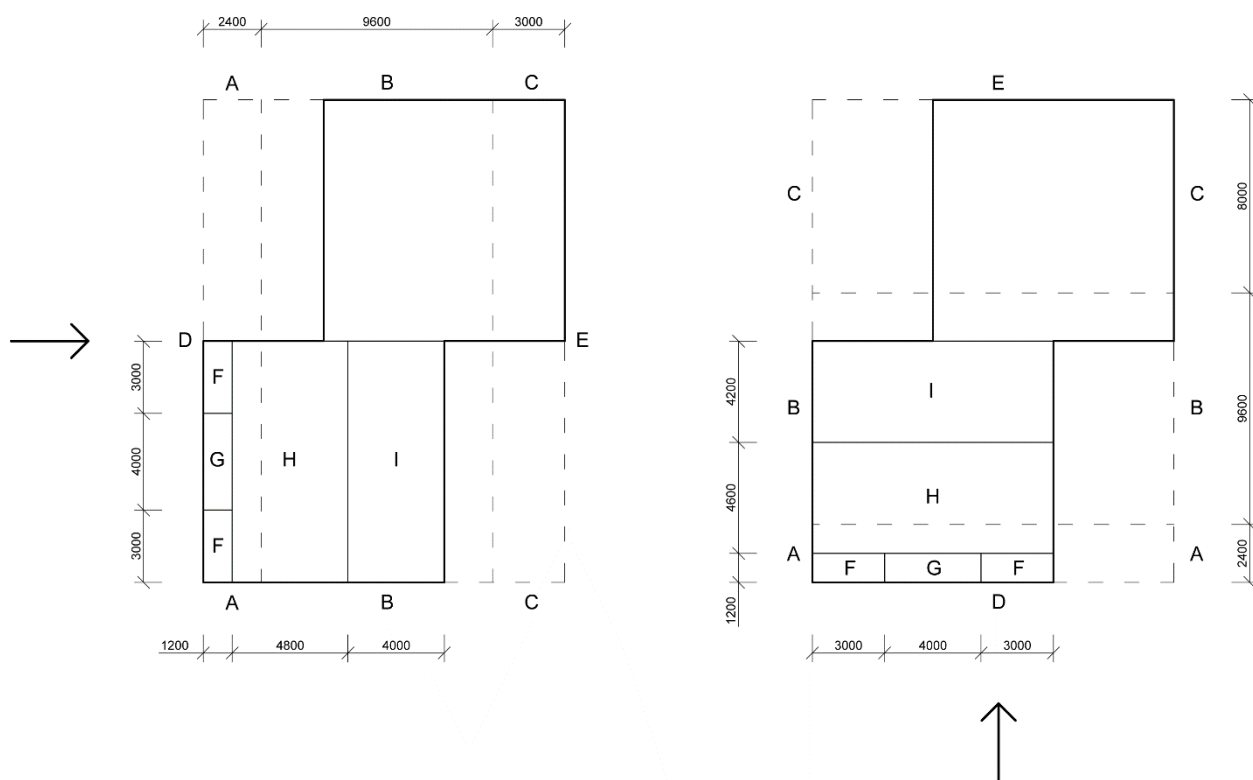
$$w^{i-} = q_p * (c_{pe,10}^i - c_{pi}^-)$$

Tab. 13 Tlaky větru na svislé stěny nižší části budovy

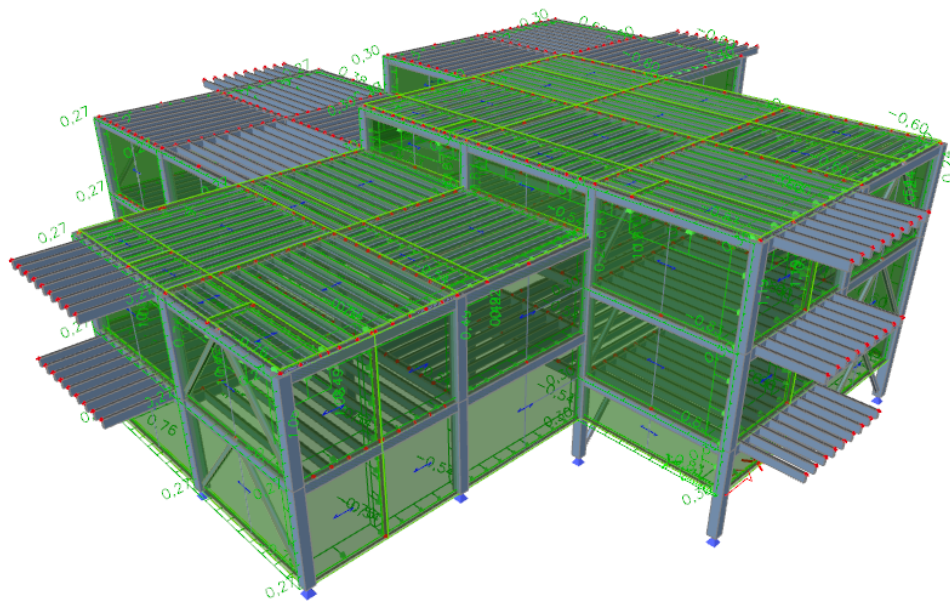
Vnější součinitel tlaku		tlak větru			
		$w^{i+} [kN/m^2]$		$w^{i-} [kN/m^2]$	
$cpe_{10}^A$	-1,2	$w^{A+}$	-0,760	$w^{A-}$	-0,488
$cpe_{10}^B$	-0,8	$w^{B+}$	-0,543	$w^{B-}$	-0,271
$cpe_{10}^C$	-0,5	$w^{C+}$	-0,380	$w^{C-}$	-0,109
$cpe_{10}^D$	0,698	$w^{D+}$	0,270	$w^{D-}$	0,541
$cpe_{10}^E$	-0,296	$w^{E+}$	-0,269	$w^{E-}$	0,002

Tab. 14 Tlaky větru na svislé stěny vyšší části budovy

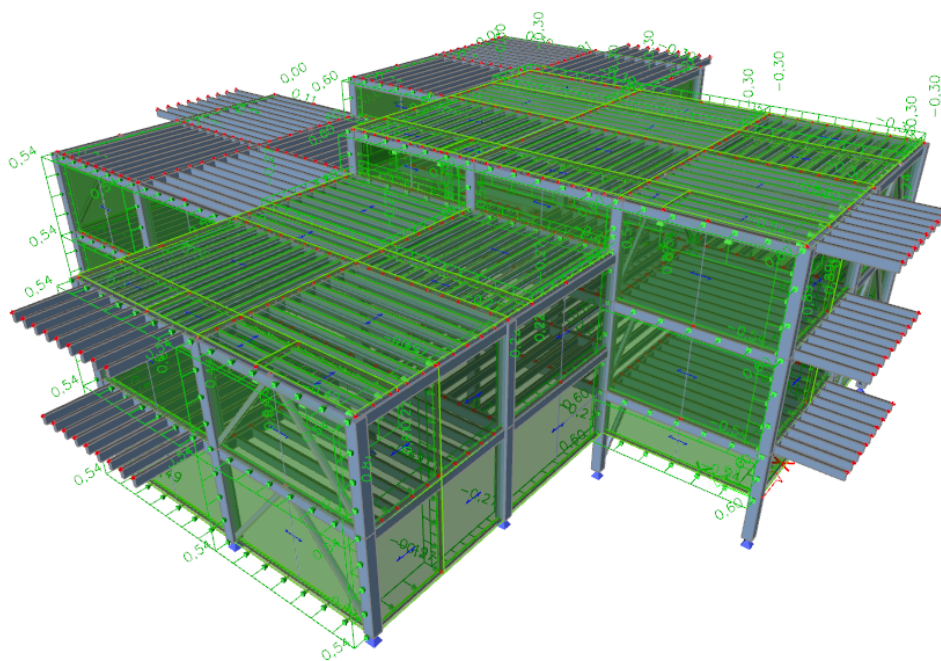
Vnější součinitel tlaku		tlak větru			
		$w^{i+} [kN/m^2]$		$w^{i-} [kN/m^2]$	
$cpe_{10}^F$	-1,8	$w^{F+}$	-1,085	$w^{F-}$	-0,814
$cpe_{10}^G$	-1,2	$w^{G+}$	-0,760	$w^{G-}$	-0,488
$cpe_{10}^H$	-0,7	$w^{H+}$	-0,488	$w^{H-}$	-0,217
$cpe_{10}^{I+}$	0,2	$w^{I++}$	0,000	$w^{I-+}$	0,271
$cpe_{10}^{I-}$	-0,2	$w^{I+-}$	-0,217	$w^{I--}$	0,054



Obr. 7.9 Zatížení větrem pro nižší část budovy



Obr. 7.9 Zatížení větrem  $w_i^+$



Obr. 7.10 Zatížení větrem  $w_i^-$

## 7.4 Zatížení sněhem

Vzhledem k odlišným výškám obou částí budovy je nutno do výpočtu zahrnout také zatížení navátým sněhem, vznikající na střešních plochách přiléhajících k vyšší části konstrukce. Charakteristická hodnota zatížení sněhem byla převzata ze sněhové mapy [27]. Výpočet zatížení sněhem byl proveden dle ČSN EN 1991-1-3. [6]

### Vstupní hodnoty

Sněhová oblast:	II
Typ krajiny:	normální
Typ střechy:	plochá
Nadmořská výška staveniště:	$H \leq 1000 \text{ m}$
Charakteristická hodnota zatížení sněhem:	$s_k = 1,03 \text{ kN/m}^2$
Součinitel expozice:	$C_e = 1,0$
Tepelný součinitel:	$C_t = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tvarový součinitel:	$\mu_i = 0,8$
Součinitel pro kombinační hodnotu:	$\psi_0 = 0,5$
Součinitel pro častou hodnotu:	$\psi_1 = 0,2$
Součinitel pro kvazistálou hodnotu:	$\psi_2 = 0,0$
Bezpečnostní součinitel:	$\gamma = 1,5$

### Zatížení sněhem

Hodnota zatížení sněhem:	$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k =$
	$0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,03 = 0,824 \text{ kN/m}^2$

### Zatížení navátým sněhem

Objemová tíha sněhu:

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$$

Výškový rozdíl konstrukcí:

$$h = 1,5 \text{ m}$$

Šířka vyšší části budovy:

$$b_1 = 10 \text{ m}$$

Šířka nižší části budovy:

$$b_2 = 10 \text{ m}$$

Tvarový součinitel zohledňující sesuv  
sněhu z horní střechy:

$$\mu_s = 0$$

Tvarový součinitel:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot h} \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k}$$

$$\mu_w = \frac{10 + 10}{2 \cdot 1,5} \leq \frac{2 \cdot 1,5}{1,03}$$

$$\mu_w = 6,67 \leq 2,91$$

$$\mu_w = 2,91$$

$$0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$$

$$0,8 \leq 2,91 \leq 4,0$$

$$\mu_2 = \mu_w + \mu_s = 2,91 + 0,0 = 2,91$$

Délka návěje:

$$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ m}$$

$$5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

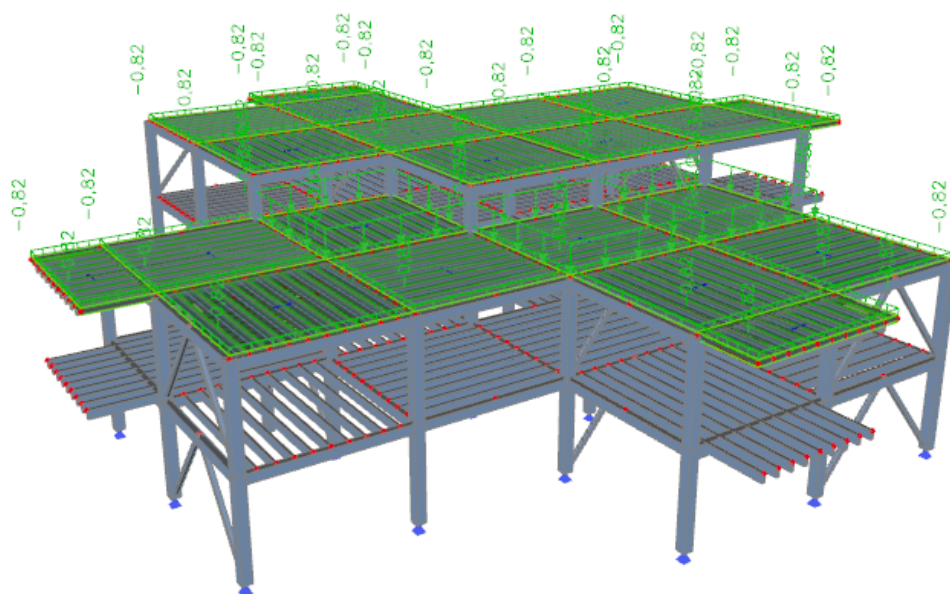
$$5 \text{ m} \leq 3 \text{ m} \leq 15 \text{ m}$$

$$l_s = 5 \text{ m}$$

Zatížení navátým sněhem:

$$s = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k =$$

$$= 2,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,03 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 7.11 Zatížení sněhem

## 7.5 Zatížení zeminou

Část objektu se nachází pod úrovní terénu, proto je nutné ve výpočtu počítat také se zatížením od štěrkového zásypu. Výpočet zatížení byl proveden dle ČSN 73 0037. [2]

### Vstupní hodnoty

Objemová tíha zásypu:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Výška konstrukce pod terénem:  $H = 1,5 \text{ m}$

Poissonovo číslo:  $\nu = 0,2$

Bezpečnostní součinitel:  $\gamma_s = 1,35$

### Zemní tlak v klidu

Součinitel:  $K_r = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{0,2}{1-0,2} = 0,25$

Zemní tlak vertikální:  $\sigma_z = \gamma * H = 20 * 1,5 = 30 \text{ MPa}$

Zemní tlak horizontální:  $\sigma_x = \sigma_z * K_r = 30 * 0,25 = 7,5 \text{ MPa}$



Výslednice zemního tlaku:

$$S_{r,x,k} = \frac{1}{2} * \sigma_x * H = \frac{1}{2} * 7,5 * 1,5 = 5,625 \text{ kN/m}$$

$$S_{r,x,d} = \gamma_s * S_{r,x,k} = 1,35 * 5,625 = 7,594 \text{ kN/m}$$

### Zatížení středního sloupu

Zatěžovací šířka:

$$b = 5 \text{ m}$$

Zatížení sloupu zemním tlakem:

$$g_{k,ss} = \sigma_x * b = 7,5 * 5 = 37,5 \text{ kN/m}$$

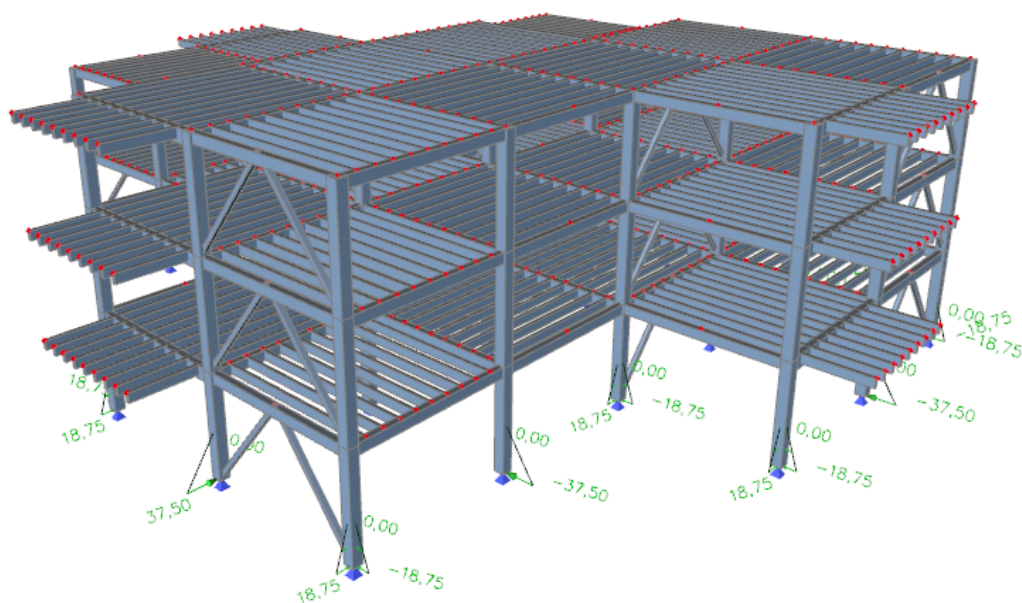
### Zatížení krajního sloupu

Zatěžovací šířka:

$$b = 2,5 \text{ m}$$

Zatížení sloupu zemním tlakem:

$$g_{k,ks} = \sigma_x * b = 7,5 * 2,5 = 18,75 \text{ kN/m}$$



Obr. 7.12 Zatížení konstrukce tíhou zásypu

## 8. NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE

### 8.1 Stropnice střešní konstrukce – bez spolupůsobícího záklopu z OSB desek

Podle výpočtu z výpočetního programu je nejvíce zatížena stropnice střešní konstrukce, na kterou působí zatížení navátým sněhem. Výpočet je proto proveden pro tuto stropnici. Stropnice je navržena z rostlého dřeva třídy C24 o rozměrech 80x240 mm. Délka stropnice je 5 m a stropnice jsou navrženy v osových vzdálenostech 500 mm.

Pro výpočet byla použita norma ČSN EN 1995-1-1 [9].

#### 8.1.1 Vstupní hodnoty

Materiál:	rostlé dřevo C24
Třída trvání zatížení:	Střednědobé
Třída provozu:	1
Modul pružnosti:	$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$
Charakteristická hustota:	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
Průměrná hustota:	$\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,3$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,8$
Součinitel dotvarování:	$k_{def} = 0,6$
Součinitel pro proměnné zatížení:	$\psi_2 = 0,3$

#### Charakteristická pevnost materiálu

Pevnost v ohybu	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
-----------------	----------------------------

Pevnost v tlaku  $f_{c,k} = 21 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu  $f_{t,k} = 14 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku  $f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$

### Návrhová pevnost materiálu

Pevnost v ohybu  $f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 * 0,8}{1,3} = 14,77 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku  $f_{c,d} = \frac{f_{c,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 * 0,8}{1,3} = 12,92 \text{ MPa}$

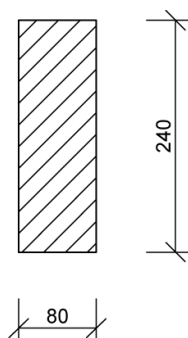
Pevnost v tahu  $f_{t,d} = \frac{f_{t,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{14 * 0,8}{1,3} = 8,62 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku  $f_{v,d} = \frac{f_{v,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4 * 0,8}{1,3} = 2,46 \text{ MPa}$

Konečná hodnota modulu pružnosti:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 * k_{def})} = \frac{11000}{1 + 0,3 * 0,6} = 9322 \text{ MPa}$$

### Průřezové charakteristiky



Obr. 8.1 Průřez stropnice střešní a stropní konstrukce

Šířka průřezu:

$$b = 80 \text{ mm}$$

Výška průřezu:

$$h = 240 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost stropnic:

$$d = 500 \text{ mm}$$

Délka stropnice:

$$l = 5000 \text{ mm}$$

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,08 * 0,24 = 1,92 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

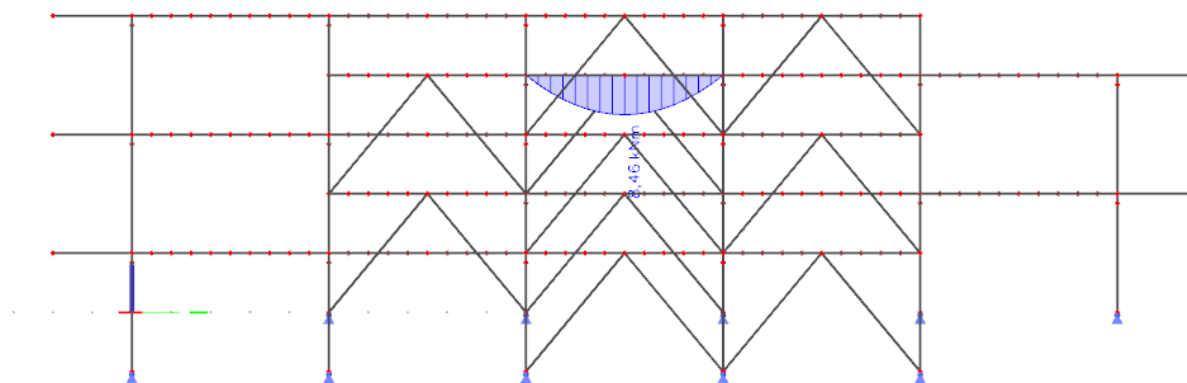
Moment setrvačnosti:

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 0,08 * 0,24^3 = \\ &= 9,22 * 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

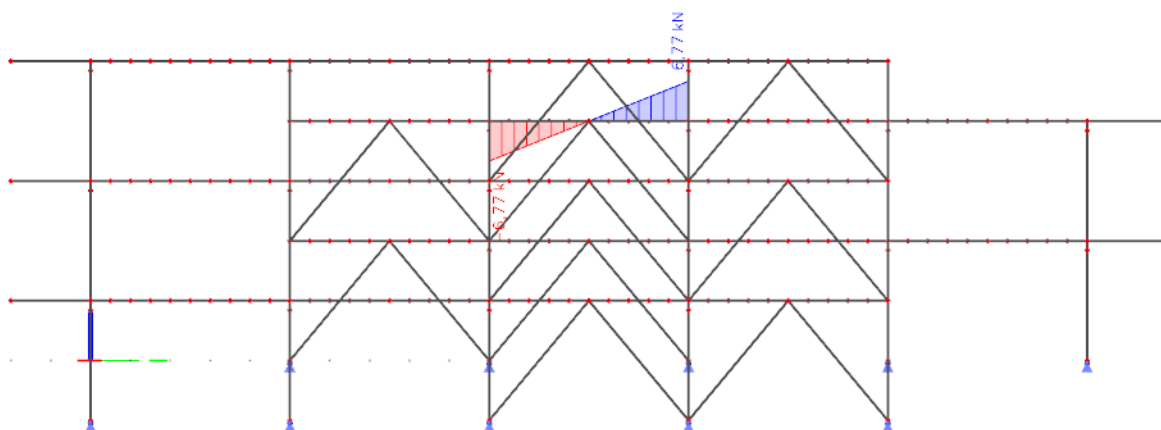
Průřezový modul:

$$\begin{aligned} W_y &= \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 0,08 * 0,24^2 = \\ &= 7,68 * 10^{-4} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### 8.1.2 Vnitřní síly



Obr. 8.2 Maximální ohybový moment



Obr. 8.3 Maximální posouvající síla

Maximální ohybový moment:

$$M_{max} = 8,46 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{max} = 6,77 \text{ kN}$$

### 8.1.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

#### Posouzení napětí v ohybu

Maximální napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max}}{W_y} = \frac{8,46}{7,68 \cdot 10^{-4}} = 11,02 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{11,02}{14,77} \leq 1,0$$

$$0,75 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Posouzení napětí ve smyku

Součinitel vlivu trhlin:

$$k_{cr} = 0,67$$

Efektivní plocha:

$$\begin{aligned} A_{ef} &= k_{cr} \cdot A = 0,67 \cdot 1,92 \cdot 10^{-2} = \\ &= 1,29 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maximální napětí ve smyku:

$$\begin{aligned} \tau_{v,d} &= \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{max}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,77}{1,29 \cdot 10^{-2}} = \\ &= 0,79 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Posouzení:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{0,79}{2,46} \leq 1,0$$

$$0,32 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Klopení

Efektivní délka (prostě uložený nosník  
zatížený spojitým zatížením):

$$l_{ef} = 0,9 * l = 0,9 * 5 = 4,5 \text{ m}$$

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0,05} =$$

$$= \frac{0,78 * 80^2}{260 * 4500} * 7400 = 34,20 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{34,20}} = 0,84$$

Součinitel klopení:

$$\text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4:$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 * \lambda_{rel,m} =$$

$$= 1,56 - 0,75 * 0,84 = 0,93$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{11,02}{0,93 * 14,77} \leq 1$$

$$0,80 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### 8.1.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Posouzení průhybu je provedeno pro stropnici stropní konstrukce. Kombinace stálého a proměnného zatížení je pro výpočet průhybu méně příznivá než u stropnice střešní konstrukce.

## Stálé zatížení

Zatížení od vlastní tíhy stropní konstrukce:  $g_k = 0,53 \text{ kN/m}$

## Proměnné zatížení

Užitné zatížení stropu:  $q_{k,s} = 0,75 \text{ kN/m}$

Zatížení od bytových a meziplyškových příček:  $q_{k,p} = 0,65 \text{ kN/m}$

Celkové proměnné zatížení stropu:  $q_k = q_{k,s} + q_{k,p} = 0,75 + 0,65 =$   
 $= 1,4 \text{ kN/m}$

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = \frac{5}{384} * \frac{g_k * l^4}{E * I_y} =$$
$$\frac{5}{384} * \frac{0,53 * 5^4}{11000 * 9,22 * 10^{-5}} = 4,27 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení:

$$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} * \frac{q_k * l^4}{E * I_y} =$$
$$= \frac{5}{384} * \frac{1,4 * 5^4}{11000 * 9,22 * 10^{-5}} = 11,24 \text{ mm}$$

Výsledný okamžitý průhyb:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} =$$
$$= 4,27 + 11,24 = 15,51 \text{ mm}$$

Konečný průhyb od stálého zatížení:

$$w_{net,fin,G} = \frac{5}{384} * \frac{g_k * l^4}{E_{mean,fin} * I_y} =$$
$$= \frac{5}{384} * \frac{0,53 * 5^4}{9322 * 9,22 * 10^{-5}} = 5,04 \text{ mm}$$

Konečný průhyb od proměnného zatížení:

$$w_{net,fin,Q} = \frac{5}{384} * \frac{q_k * l^4}{E_{mean,fin} * I_y} =$$
$$= \frac{5}{384} * \frac{1,4 * 5^4}{9322 * 9,22 * 10^{-5}} = 13,26 \text{ mm}$$

Výsledný konečný průhyb:

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q} =$$
$$= 5,04 + 13,26 = 18,30 \text{ mm}$$

Posouzení okamžitého průhybu:

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$15,51 \leq \frac{5000}{300}$$

$$15,51 \leq 16,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení konečného průhybu:

$$w_{net,fin} \leq \frac{l}{250}$$

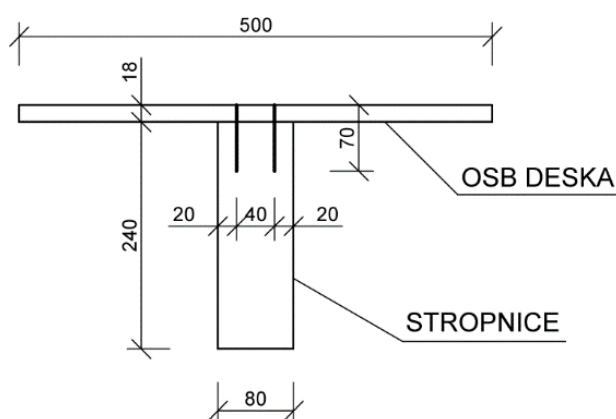
$$18,30 \leq \frac{5000}{250}$$

$$18,30 \leq 20,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.2 Posouzení stropnice – se spolupůsobícím záklopem z OSB desek

Stropnice jsou, stejně jako v předchozím výpočtu, navrženy z rostlého dřeva třídy C24 o průřezu 80x240 mm. Délka stropnic je 5 m, osová vzdálenost mezi stropnicemi je 500 mm. S nosníkem spolupůsobí horní záklop z OSB desky. Dostatečné spolupůsobení je zajištěno vždy dvojicí hřebíků o průměru 3,15 mm a délce 70 mm, rozmístěných po délce nosníku ve vzdálenostech 50 mm. Výpočet je proto proveden pro tuto stropnici.

Pro výpočet byla použita norma ČSN EN 1995-1-1 [9].



Obr. 8.4 Spřažený průřez



### 8.2.1 Vstupní hodnoty

Osová vzdálenost nosníků:  $o = 0,5 \text{ m}$

Délka nosníků:  $l = 5 \text{ m}$

Materiál:	<b>OSB 3</b>	<b>rostlé dřevo C24</b>
Zatížení:	Střednědobé	Střednědobé
Třída provozu:	1	1
Modul pružnosti:	$E_{0,mean} = 4930 \text{ MPa}$	$11000 \text{ MPa}$
Charakteristická hustota:	$\rho_k = 600 \text{ kg/m}^3$	$350 \text{ kg/m}^3$
Průměrná hustota:	$\rho_{mean} = 650 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_M = 1,2$	$1,3$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,7$	$0,8$
Součinitel dotvarování:	$k_{def} = 1,5$	$0,6$
Součinitel pro proměnné zatížení:	$\psi_2 = 0,3$	$0,3$

Průměrná hustota složeného průřezu:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{k,1} * \rho_{k,2}} = \sqrt{650 * 420} = 522,49 \text{ kg/m}^3$$

Konečná hodnota modulu pružnosti:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{(1 + \psi_2 * k_{def})}$$

$$E_{mean,fin} = 3400 \text{ MPa} \quad 9322 \text{ MPa}$$

### Charakteristická pevnost materiálu

Pevnost v ohybu:  $f_{m,k} = 14,8 \text{ MPa} \quad 24 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku:	$f_{c,k} =$	14,8 MPa	21 MPa
Pevnost v tahu:	$f_{t,k} =$	9 MPa	14 MPa
Pevnost ve smyku:	$f_{v,k} =$	6,8 MPa	4 MPa

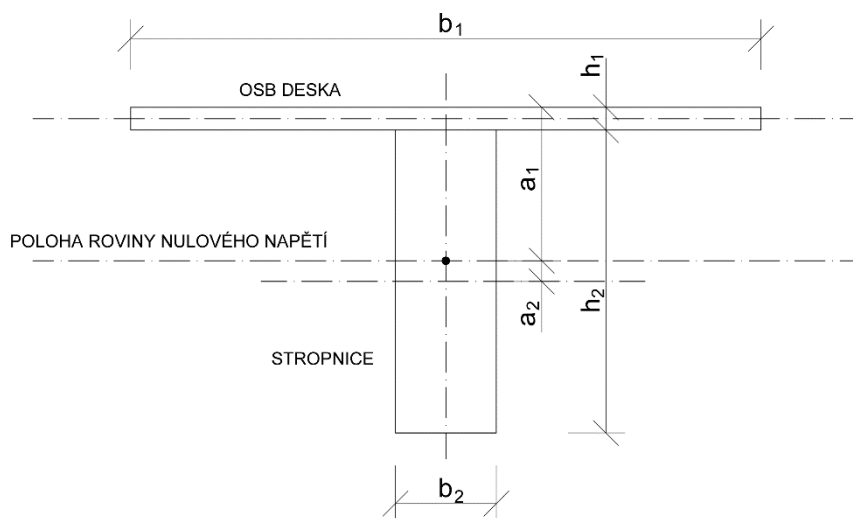
### Návrhová pevnost materiálu

Pevnost v ohybu:	$f_{m,d} =$	8,63 MPa	14,77 MPa
Pevnost v tlaku:	$f_{c,d} =$	8,63 MPa	12,92 MPa
Pevnost v tahu:	$f_{t,d} =$	5,25 MPa	8,62 MPa
Pevnost ve smyku:	$f_{v,d} =$	3,97 MPa	2,46 MPa

### Spojovací prostředky – hřebíky kruhového průřezu, předvrtané

Mez pevnosti:	$f_u = 600 \text{ MPa}$
Průměr:	$d = 3,15 \text{ mm}$
Počet hřebíků vedle sebe:	$n = 2$
Rozteč po délce nosníku:	$s = 50 \text{ mm}$
Délka hřebíku:	$l_h = 70 \text{ mm}$
Plastický moment únosnosti:	$M_{y,Rk} = 0,3 * f_u * d^{2,6} = 0,3 * 600 * 3,15^{2,6} =$ $= 3555,33 \text{ N/mm}$
Modul prokluzu pro MSP:	$k_{ser} = \rho_m^{1,5} * \frac{2*d^{0,8}}{30} = 522,49^{1,5} * \frac{2*3,15^{0,8}}{30} =$ $= 1993,79 \text{ N/mm}$
Modul prokluzu pro MSÚ:	$k_u = \frac{2}{3} * k_{ser} = \frac{2}{3} * 1993,79 = 1329,19 \text{ N/mm}$

## Průřezové charakteristiky spřaženého průřezu



Obr. 8.5 Rozměry a rozteče pro výpočet spřaženého nosníku

### OSB deska

Šířka průřezu:  $b_1 = 500 \text{ mm}$

Výška průřezu:  $h_1 = 18 \text{ mm}$

Efektivní šířka desky: 
$$b_{c,eff} = \min \left\{ \frac{0,2 * l}{30 * t} \right\} = \min \left\{ \frac{0,2 * 5000}{30 * 18} \right\} =$$
$$= \min \left\{ \frac{1000}{540} \right\} = 540 \text{ mm}$$
$$b_{eff} = \min \left\{ \frac{b_{c,eff} + b}{o} \right\} = \min \left\{ \frac{540 + 80}{500} \right\} =$$
$$= \min \left\{ \frac{620}{500} \right\} = 500 \text{ mm}$$

Plocha průřezu desky:  $A_1 = b_{eff} * h_1 = 0,5 * 0,018 = 9,0 * 10^{-3} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti: 
$$I_{y,1} = \frac{1}{12} * b_{eff} * h_1^3 = \frac{1}{12} * 0,5 * 0,018^3 =$$
$$= 2,43 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

### Počáteční stav

Součinitel: 
$$\gamma_1 = \left(1 + \frac{\pi^2 * E_1 * A_1 * S_1}{K_{ser} * l^2}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{\pi^2 * 4930 * 9 * 10^3 * 50}{1993,79 * 5000^2}\right)^{-1}$$
$$= 0,69$$

Poloha neutrální osy: 
$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{18 + 240}{2} - 16,43 = 112,57 \text{ mm}$$

### Konečný stav

Součinitel: 
$$\gamma_1 = \left(1 + \frac{\pi^2 * E_1 * A_1 * S_1}{K_{ser} * l^2}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{\pi^2 * 3400 * 9 * 10^3 * 50}{1993,79 * 5000^2}\right)^{-1}$$
$$= 0,85$$

Poloha neutrální osy: 
$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 = \frac{18 + 240}{2} - 13,24 = 115,76 \text{ mm}$$

### Průřezové charakteristiky – stropnice

Šířka průřezu: 
$$b_2 = 80 \text{ mm}$$

Výška průřezu: 
$$h_2 = 240 \text{ mm}$$

Vnik hřebíku: 
$$h_h = l_h - h_1 = 70 - 18 = 52 \text{ mm}$$

Plocha průřezu desky: 
$$A_2 = b_2 * h_2 = 0,08 * 0,24 = 1,92 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti: 
$$I_{y,2} = \frac{1}{12} * b_2 * h_2^3 = \frac{1}{12} * 0,08 * 0,24^3 =$$
$$= 9,22 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

### Počáteční stav

Součinitel: 
$$\gamma_2 = 1,0$$

Poloha neutrální osy: 
$$a_2 = \frac{1}{2} * \frac{\gamma_1 * A_1 * (h_1 + h_2)}{\sum \gamma_i * A_i} = \frac{1}{2} * \frac{0,69 * 9 * 10^3 * (18 + 240)}{0,69 * 9 * 10^3 + 1,0 * 1,92 * 10^4} =$$
$$= 16,43 \text{ mm}$$

### Konečný stav

Součinitel:  $\gamma_1 = 1,0$

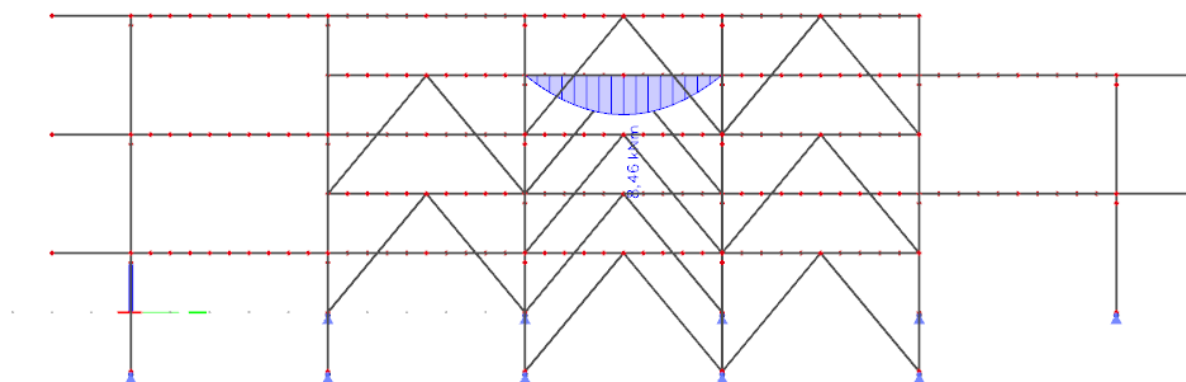
Poloha neutrální osy: 
$$a_2 = \frac{1}{2} * \frac{\gamma_1 * A_1 * (h_1 + h_2)}{\sum \gamma_i * A_i} = \frac{1}{2} * \frac{0,85 * 9 * 10^3 * (18 + 240)}{0,85 * 9 * 10^3 + 1,0 * 1,92 * 10^4} =$$
  
$$= 13,24 \text{ mm}$$

### Účinná ohybová tuhost

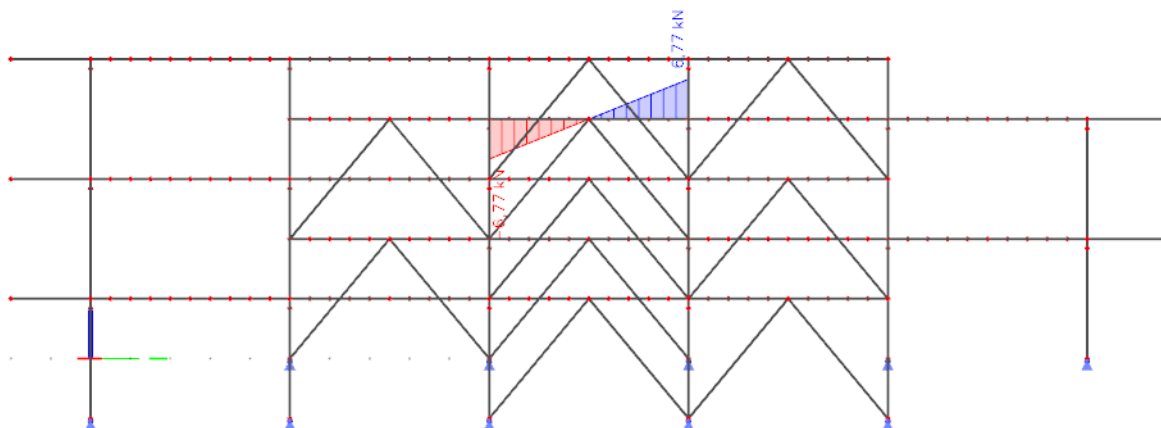
Počáteční stav: 
$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i * I_i + \gamma_i * E_i * A_i * a_i^2) =$$
  
$$= (4930 * 2,43 * 10^5 + 0,69 * 4930 * 9 * 10^3 * 112,57^2) +$$
  
$$+ (11000 * 9,22 * 10^7 + 1,0 * 11000 * 1,92 * 10^4 * 16,43^2)$$
  
$$(EI)_{ef} = 1,46 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Konečný stav: 
$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i * I_i + \gamma_i * E_i * A_i * a_i^2) =$$
  
$$= (3400 * 2,43 * 10^5 + 0,85 * 3400 * 9 * 10^3 * 115,76^2) +$$
  
$$+ (9322 * 9,22 * 10^7 + 1,0 * 9322 * 1,92 * 10^4 * 13,24^2)$$
  
$$(EI)_{ef} = 8,6 * 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

### 8.2.2 Vnitřní síly



Obr. 8.6 Maximální ohybový moment



Obr. 8.7 Maximální posouvající síla

Maximální ohybový moment:

$$M_{max} = 8,46 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{max} = 6,77 \text{ kN}$$

### 8.2.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

Napětí v OSB desce

Počáteční stav

Napětí v těžišti:

$$\sigma_{1,d} = \frac{\gamma_1 * E_1 * a_i * M_{max}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,69 * 4930 * 112,57 * 8,46}{1,46 * 10^{12}} = 2,23 \text{ MPa}$$

Napětí v krajních vláknech:

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{\gamma_1 * E_1 * h_i * M_{max}}{2 * (EI)_{ef}} = \frac{0,69 * 4930 * 18 * 8,46}{2 * 1,46 * 10^{12}} = 0,26 \text{ MPa}$$

Konečný stav

Napětí v těžišti:

$$\sigma_{1,d} = \frac{\gamma_1 * E_1 * a_i * M_{max}}{(EI)_{ef}} = \frac{0,85 * 3400 * 115,76 * 8,46}{8,6 * 10^{11}} = 1,91 \text{ MPa}$$

Napětí v krajních vláknech:

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{\gamma_1 * E_1 * h_i * M_{max}}{2 * (EI)_{ef}} = \frac{0,85 * 3400 * 18 * 8,46}{2 * 8,6 * 10^{11}} = 0,17 \text{ MPa}$$

Napětí ve stropnici

Počáteční stav

Napětí v těžišti:

$$\sigma_{2,d} = \frac{\gamma_2 * E_2 * a_2 * M_{max}}{(EI)_{ef}} = \frac{1,0 * 11000 * 16,43 * 8,46}{1,46 * 10^{12}} = 1,05 \text{ MPa}$$

Napětí v krajních vláknech:

$$\sigma_{m,2,d} = \frac{\gamma_2 * E_2 * h_2 * M_{max}}{2 * (EI)_{ef}} = \frac{1,0 * 11000 * 240 * 8,46}{2 * 1,46 * 10^{12}} = 7,64 \text{ MPa}$$

Konečný stav

Napětí v těžišti:

$$\sigma_{2,d} = \frac{\gamma_2 * E_2 * a_2 * M_{max}}{(EI)_{ef}} = \frac{1,0 * 9322 * 13,24 * 8,46}{8,6 * 10^{11}} = 0,90 \text{ MPa}$$

Napětí v krajních vláknech:

$$\sigma_{m,1,d} = \frac{\gamma_2 * E_2 * h_2 * M_{max}}{2 * (EI)_{ef}} = \frac{1,0 * 9322 * 240 * 8,46}{2 * 8,6 * 10^{11}} = 8,12 \text{ MPa}$$

**Smyková napětí ve stropnici**

Počáteční napětí:

$$\tau_{2,max} = \frac{0,5 * E_2 * b_2 * h_2^2 * V_{max}}{b_2 * (EI)_{ef}} = \frac{0,5 * 11000 * 0,24^2 * 6,77}{1,46 * 10^{12}} =$$

$$= 1,47 \text{ MPa}$$

Konečné napětí:

$$\tau_{2,max} = \frac{0,5 * E_2 * b_2 * h_2^2 * V_{max}}{b_2 * (EI)_{ef}} = \frac{0,5 * 9322 * 0,24^2 * 6,77}{8,6 * 10^{11}} =$$

$$= 1,56 \text{ MPa}$$

**Posouzení mezního stavu únosnosti – OSB deska**

Kombinace tlaku a ohybu (P.S.):

$$\left( \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,1,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\left( \frac{2,23}{8,63} \right)^2 + \frac{0,26}{8,63} \leq 1,0$$

$$0,10 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace tlaku a ohybu (K.S.):

$$\left( \frac{\sigma_{1,d}}{f_{c,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,1,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\left( \frac{1,91}{8,63} \right)^2 + \frac{0,17}{8,63} \leq 1,0$$

$$0,07 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení mezního stavu únosnosti – stropnice

Kombinace tahu a ohybu (P.S.):  $\left(\frac{\sigma_{2,d}}{f_{t,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$

$$\left(\frac{1,05}{8,62}\right)^2 + \frac{7,64}{14,77} \leq 1,0$$

$$0,53 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace tahu a ohybu (K.S.):  $\left(\frac{\sigma_{2,d}}{f_{t,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,2,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$

$$\left(\frac{0,90}{8,62}\right)^2 + \frac{8,12}{14,77} \leq 1,0$$

$$0,56 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Napětí ve smyku (P.S.):  $\frac{\tau_{max,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$

$$\frac{1,47}{2,46} \leq 1,0$$

$$0,60 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Napětí ve smyku (K.S.):  $\frac{\tau_{max,d}}{f_{v,d}} \leq 1,0$

$$\frac{1,56}{2,46} \leq 1,0$$

$$0,63 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 8.2.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Stálé zatížení:  $g_k = 0,53 \text{ kN/m}$

Proměnné zatížení:  $q_k = 1,4 \text{ kN/m}$

Okamžitý průhyb od stálého zatížení: 
$$w_{G,inst} = \frac{5}{384} * \frac{g_k * l^4}{(EI)_{ef}} = \frac{5}{384} * \frac{0,53 * 5000^4}{1,46 * 10^{12}} =$$
$$= 2,96 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení: 
$$w_{Q,inst} = \frac{5}{384} * \frac{q_k * l^4}{(EI)_{ef}} = \frac{5}{384} * \frac{1,4 * 5000^4}{1,46 * 10^{12}} =$$
$$= 7,79 \text{ mm}$$



Výsledný okamžitý průhyb:

$$\begin{aligned}w_{inst} &= w_{G,inst} + w_{Q,inst} = \\&= 2,96 + 7,79 = 10,75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Konečný průhyb od stálého zatížení:

$$\begin{aligned}w_{G,inst} &= \frac{5}{384} * \frac{g_k * l^4}{(EI)_{ef}} = \frac{5}{384} * \frac{0,53 * 5000^4}{8,6 * 10^{11}} = \\&= 5,04 \text{ mm}\end{aligned}$$

Konečný průhyb od proměnného zatížení:

$$\begin{aligned}w_{Q,inst} &= \frac{5}{384} * \frac{q_k * l^4}{(EI)_{ef}} = \frac{5}{384} * \frac{1,4 * 5000^4}{8,6 * 10^{11}} = \\&= 13,26 \text{ mm}\end{aligned}$$

Výsledný konečný průhyb:

$$\begin{aligned}w_{inst} &= w_{G,inst} + w_{Q,inst} = \\&= 5,04 + 13,26 = 18,30 \text{ mm}\end{aligned}$$

**Posouzení:**

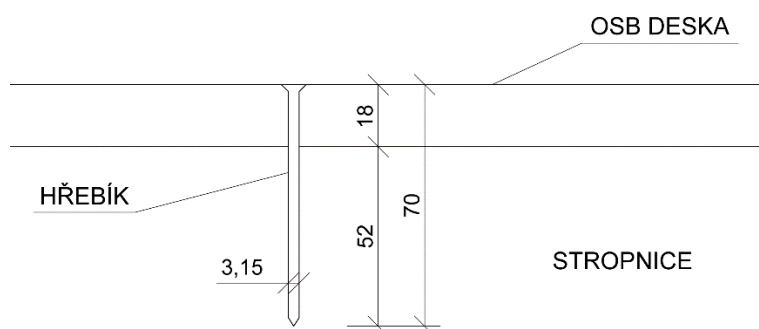
Okamžitý průhyb:

$$\begin{aligned}w_{inst} &\leq \frac{l}{300} \\10,75 &\leq \frac{5000}{300} \\10,75 &\leq 16,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

Konečný průhyb:

$$\begin{aligned}w_{net,fin} &\leq \frac{l}{250} \\18,30 &\leq \frac{5000}{250} \\18,30 &\leq 20,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}$$

### 8.2.5 Posouzení únosnosti hřebíkového spoje spřažení



Obr. 8.8 Řez jednostřížným spojem deska-dřevo

Mez pevnosti:	$f_u = 600 \text{ MPa}$
Průměr:	$d = 3,15 \text{ mm}$
Počet hřebíků vedle sebe:	$n = 2$
Rozteč po délce nosníku:	$s = 50 \text{ mm}$
Délka hřebíku:	$l_h = 70 \text{ mm}$
Tloušťka desky:	$t_1 = 18 \text{ mm}$
Vnik hřebíku do stropnice:	$t_2 = 52 \text{ mm}$
Plastický moment únosnosti:	$M_{y,Rk} = 0,3 * f_u * d^{2,6} = 0,3 * 600 * 3,15^{2,6} =$ $= 3555,33 \text{ N/mm}$
Modul prokluzu pro MSP:	$k_{ser} = \rho_m^{1,5} * \frac{2 * d^{0,8}}{30} = 522,49^{1,5} * \frac{2 * 3,15^{0,8}}{30} =$ $= 1993,79 \text{ N/mm}$
Modul prokluzu pro MSÚ:	$k_u = \frac{2}{3} * k_{ser} = \frac{2}{3} * 1993,79 = 1329,19 \text{ N/mm}$

## Charakteristická pevnost v otláčení

OSB deska: 
$$f_{h,1,k} = 65 * t_1^{0,1} * d^{-0,7} = 65 * 18^{0,1} * 3,15^{-0,7} =$$
  

$$= 38,87 \text{ MPa}$$

Stropnice: 
$$f_{h,2,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} = 0,082 * 350 * 3,15^{-0,3} =$$
  

$$= 20,34 \text{ MPa}$$

Poměr pevností v otláčení: 
$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{38,87}{20,34} = 0,52$$

## Zatížení spojovacího prostředku

Okamžitá smyková síla: 
$$F_{v,inst,Ed} = \frac{V_{max} * \gamma_1 * E_1 * A_1 * a_1 * s_1}{(EI)_{ef}} =$$
  

$$= \frac{6,77 * 0,69 * 4930 * 9 * 10^3 * 112,57 * 50}{1,46 * 10^{12}} = 803,14 \text{ N}$$

Konečná smyková síla: 
$$F_{v,fin,Ed} = \frac{V_{max} * \gamma_1 * E_1 * A_1 * a_1 * s_1}{(EI)_{ef}} =$$
  

$$= \frac{6,77 * 0,85 * 3400 * 9 * 10^3 * 115,76 * 50}{8,6 * 10^{11}} = 688,21 \text{ N}$$

Maximální smyková síla: 
$$F_{v,Ed} = \max \left\{ F_{v,inst,Ed} \right\} = \max \left\{ 803,14 \right\} = 803,14 \text{ N}$$

## Charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku pro jednostřížné spoje

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} * \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 * \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 * \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta * \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 * \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} * \left[ \sqrt{2\beta * (1 + \beta) + \frac{4\beta * (2 + \beta) * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 * \frac{f_{h,2,k} * t_2 * d}{1 + 2\beta} * \left[ \sqrt{2\beta^2 * (1 + \beta) + \frac{4\beta * (1 + 2\beta) * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$F_{v,Rk} = \min \begin{Bmatrix} 2203,97 \\ 3331,98 \\ 1253,95 \\ 838,83 \\ 1355,47 \\ 889,45 \end{Bmatrix} = 838,83 \text{ N}$$

### Návrhová únosnost spojovacích prostředků

OSB deska:  $F_{v,1,Rd} = 2 * \frac{k_{mod} * F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2 * \frac{0,7 * 838,83}{1,2} = 978,64 \text{ N}$

Stropnice:  $F_{v,2,Rd} = 2 * \frac{k_{mod} * F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2 * \frac{0,8 * 838,83}{1,3} = 1032,41 \text{ N}$

Výsledná maximální únosnost:  $F_{v,Rd} = \min \{ F_{v,1,Rd} \} = \max \{ 978,64 \} = 978,64 \text{ N}$

### Posouzení únosnosti spojovacích prostředků

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$978,64 \geq 787,71 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení vzdáleností a roztečí spojovacích prostředků

	Úhel	Minimální rozteče a vzdálenosti
Rovnoběžně s vlákny:	$\alpha = 0^\circ$	$a_1 = (5 + 5 *  \cos \alpha ) * d = 26,8 \text{ mm}$
Kolmo k vláknům:	$\alpha = 0^\circ$	$a_2 = 5 * d = 13,4 \text{ mm}$
Zatížený konec:	$\alpha = 0^\circ$	$a_{3,t} = (10 + 5 * \cos \alpha) * d = 47,3 \text{ mm}$
Zatížený okraj:	$\alpha = 180^\circ$	$a_{4,t} = (5 + 2 * \sin \alpha) * d = 10,7 \text{ mm}$
Nezatížený okraj:	$\alpha = 180^\circ$	$a_{4,c} = 5 * d = 15,8 \text{ mm}$

### Navržené rozteče

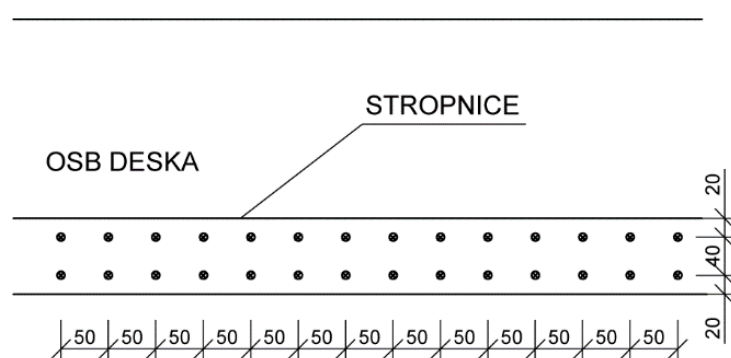
$$a_1 = 50 \text{ mm} \geq 26,8 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$a_2 = 20 \text{ mm} \geq 13,4 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$a_{3,t} = 50 \text{ mm} \geq 47,3 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$a_{4,t} = 20 \text{ mm} \geq 10,7 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

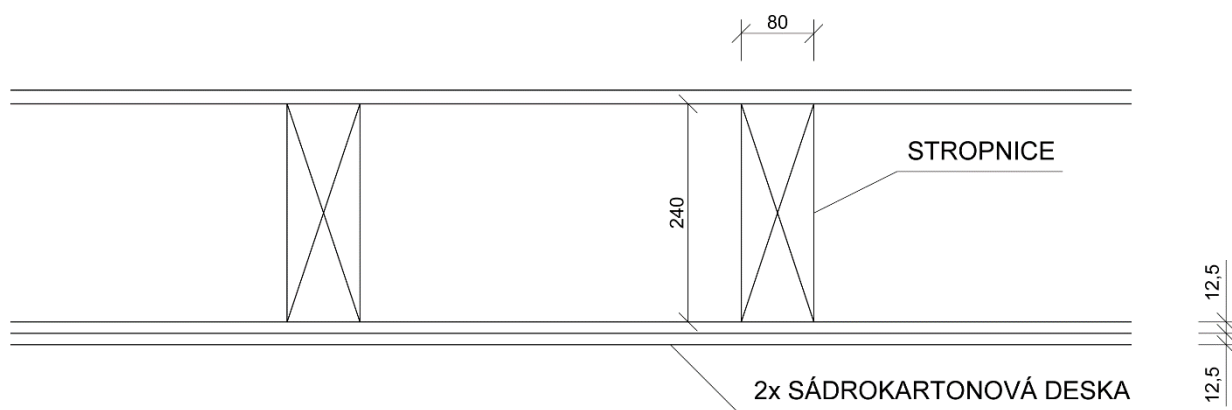
$$a_{4,c} = 20 \text{ mm} \geq 15,8 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 8.9 Vzdálenosti a rozteče spojovacích prostředků

#### 8.2.6 Posouzení požární odolnosti stropnice

Stropnice je proti účinkům požáru chráněna dvojicí sádkartonových desek typu F, tloušťka každé z nich je 12,5 mm. Požadovaná požární odolnost stropní konstrukce je 60 minut. Pro výpočet byla použita metoda redukováných vlastností. Výpočet požární odolnosti byl proveden dle norem ČSN 73 0802 [1], ČSN EN 1995-1-2 [10] a literatury [14].



Obr. 8.10 Stropnice chráněná sádrokartonovými deskami

### Vstupní hodnoty

Tloušťka jedné desky:  $h = 12,5 \text{ mm}$

Tloušťka dvou spolupůsobících desek:  $h_p = 22,5 \text{ mm}$

Součinitel (pro rostlé dřevo):  $k_{fi} = 1,25$

Redukční součinitel:  $n_{fi} = 0,6$

Bezpečnostní součinitel:  $\gamma_{M,fi} = 1$

Součinitel příčné a torzní stability:  $k_{crit} = 1$

Rychlost zuhelnatění (rostlé dřevo):  $\beta_n = 0,8$

Čas do porušení ochrany:  $t_{ch} = 2,8 * h_p - 14 = 2,8 * 22,5 - 14 = 49 \text{ min}$

Požadovaná doba požární odolnosti:  $t_{req} = 60 \text{ min}$

Požární odolnost chráněných spojů:  $t_{ch} \geq t_{req} - 1,2 * t_{d,fi}$

$$49 \geq 60 - 1,2 * t_{d,fi}$$

$$t_{d,fi} \geq \frac{60-49}{1,2}$$

$$t_{d,fi} \geq 9,17 \text{ min}$$

## Vnitřní síly při požáru

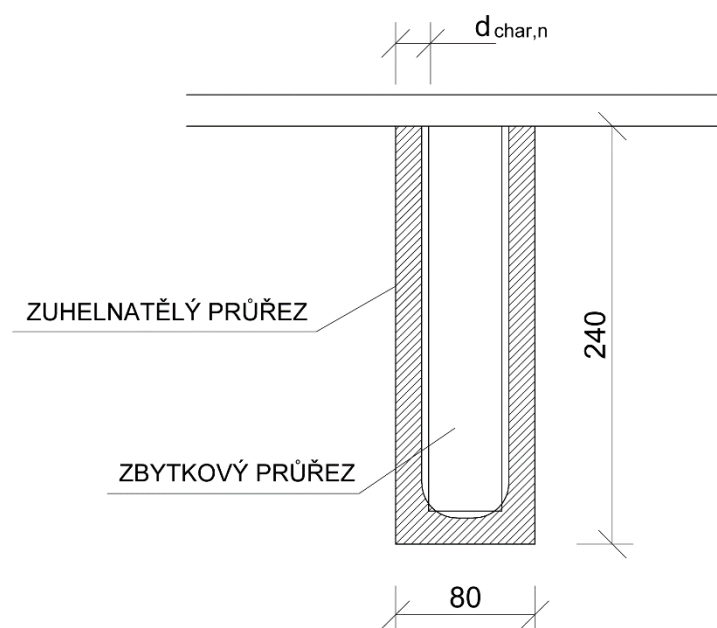
Maximální moment:

$$M_{Ed} = 8,3 \text{ kNm}$$

Maximální moment při požáru:

$$M_{Ed,fi} = n_{fi} * M_{Ed} = 0,6 * 8,3 = \\ = 4,98 \text{ kNm}$$

## Průřezové charakteristiky za požáru



Obr. 8.11 Hloubka zuhelnatění

Hloubka zuhelnatění:

$$d_{char} = \beta_n * t$$

Šířka průřezu:

$$b_{fi} = b - 2 * d_{char}$$

Výška průřezu:

$$h_{fi} = h - d_{char}$$

Plocha průřezu:

$$A_{fi} = b_{fi} * h_{fi}$$

Průřezový modul:

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} * b_{fi} * h_{fi}^2$$

Zbytkový obvod průřezu:

$$p = b_{fi} + 2 * h_{fi}$$

Modifikační součinitel:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{p}{A_{fi}}$$

Návrhová pevnost:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

Maximální napětí:

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{Ed,fi}}{W_{y,fi}}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{m,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

Tab. 15 Posouzení odolnosti stropnice za požáru

t	5	10	15	20	25	29	30	
d <sub>char</sub>	4	8	12	16	20	23,2	24	mm
b <sub>fi</sub>	72	64	56	48	40	33,6	32	mm
h <sub>fi</sub>	236	232	228	224	220	216,8	216	mm
A <sub>fi</sub>	1,70E-02	1,48E-02	1,28E-02	1,08E-02	8,80E-03	7,28E-03	6,91E-03	m <sup>2</sup>
W <sub>y,fi</sub>	6,68E-04	5,74E-04	4,85E-04	4,01E-04	3,23E-04	2,63E-04	2,49E-04	m <sup>3</sup>
p	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	m
k <sub>mod,fi</sub>	0,84	0,82	0,80	0,77	0,73	0,68	0,66	
f <sub>m,d,fi</sub>	25,20	24,67	23,98	23,08	21,82	20,38	19,93	MPa
σ <sub>m,d,fi</sub>	7,45	8,67	10,26	12,41	15,43	18,92	20,01	MPa
Posudek	0,30	0,35	0,43	0,54	0,71	0,93	1,00	
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	

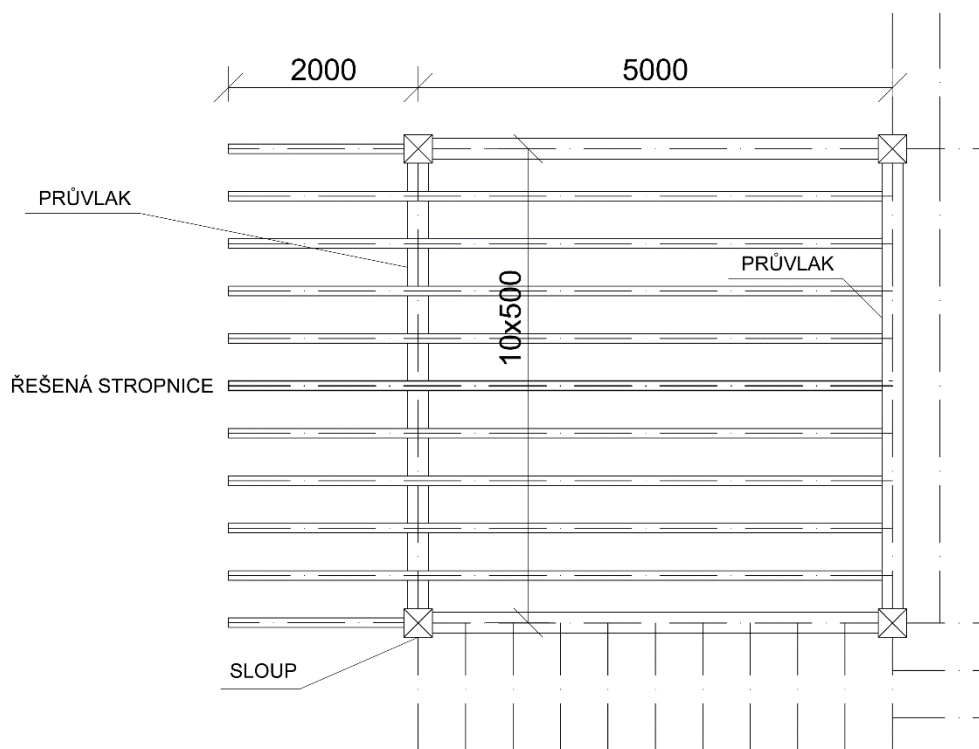
Poté, co sádrokartonové desky přestanou plnit svou ochrannou funkci, musí stropnice odolat požáru minimálně po dobu 10 minut, aby byla splněna požadovaná doba požární odolnosti 60 minut. Výpočtem bylo ověřeno, že nechráněná stropnice ztratí únosnost po 29 minutách, na požadavek požární odolnosti tedy vyhoví.

### 8.3 Stropnice konstrukce balkonu

Stropnice konstrukce balkonu a přilehlého pole je navržena z rostlého dřeva třídy C24 o průřezu 100x260 mm. Délka stropnice je 7 m, jednotlivé stropnice jsou navrženy v osových vzdálenostech 500 mm.

Pro výpočet byla použita norma ČSN EN 1995-1-1 [9].





Obr. 8.12 Vyznačení stropnice v rastru nosné konstrukce

### 8.3.1 Vstupní hodnoty

Materiál:	Rostlé dřevo C24
Zatížení:	Střednědobé
Třída provozu:	1
Modul pružnosti:	$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$
Charakteristická hustota:	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
Průměrná hustota:	$\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,8$
Součinitel dotvarování:	$k_{def} = 0,6$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,3$
Součinitel proměnného zatížení:	$\psi_2 = 0,3$

## Charakteristické pevnosti

Pevnost v ohybu:  $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:  $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:  $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku kolmo k vláknům:  $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku:  $f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$

## Návrhové pevnosti

Pevnost v ohybu:  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 24}{1,3} = 14,77 \text{ MPa}$

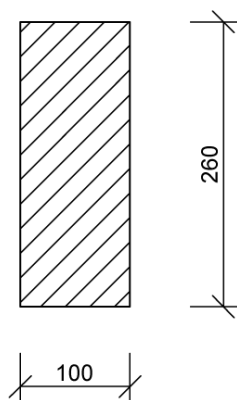
Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:  $f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 14}{1,3} = 8,62 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:  $f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 21}{1,3} = 12,92 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku kolmo k vláknům:  $f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 2,5}{1,3} = 1,54 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku:  $f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 4}{1,3} = 2,46 \text{ MPa}$

## Průřezové charakteristiky



Obr. 8.13 Průřez stropnice

Šířka:	$b = 100 \text{ mm}$
Výška:	$h = 260 \text{ mm}$
Délka:	$l = 7 \text{ m}$
Plocha průřezu:	$A = b * h = 0,1 * 0,26 = 2,6 * 10^{-2} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 0,1 * 0,26^3 =$ $= 1,46 * 10^{-4} \text{ m}^4$
Průřezový modul:	$W = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 0,1 * 0,26^2 =$ $= 1,13 * 10^{-3} \text{ m}^3$
Poloha roviny nulového napětí:	$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1,46 * 10^{-4}}{2,6 * 10^{-2}}} = 7,51 * 10^{-2} \text{ m}$

### Parametry stropnice

Délka:	$l = 7 \text{ m}$
Vzpěrná délka:	$l_{cr,z} = 5 \text{ m}$
Součinitel přímosti:	$\beta_c = 0,2$
Účinná délka:	$l_{ef} = 0,9 * l = 0,9 * 5 = 4,5 \text{ m}$
Součinitel vlivu trhlin:	$k_{cr} = 0,67$
Štíhlost:	$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{5}{7,51 * 10^{-2}} = 66,62$
Poměrná štíhlost:	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{66,62}{\pi} * \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,13$
Součinitel vzpěrnosti:	$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] =$ $= 0,5 * [1 + 0,2 * (1,13 - 0,3) + 1,13^2] = 1,22$ $k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,22 + \sqrt{1,22^2 - 1,13^2}} = 0,59$

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,26 \cdot 4,5} \cdot 7400 =$$

$$= 49,33 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost v ohybu:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{49,33}} = 0,7$$

Součinitel příčné a torzní stability:

$$1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$\frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

$$k_{crit} = 1$$

Efektivní průřez:

$$A_{ef} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,1 \cdot 0,26 =$$

$$= 1,74 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

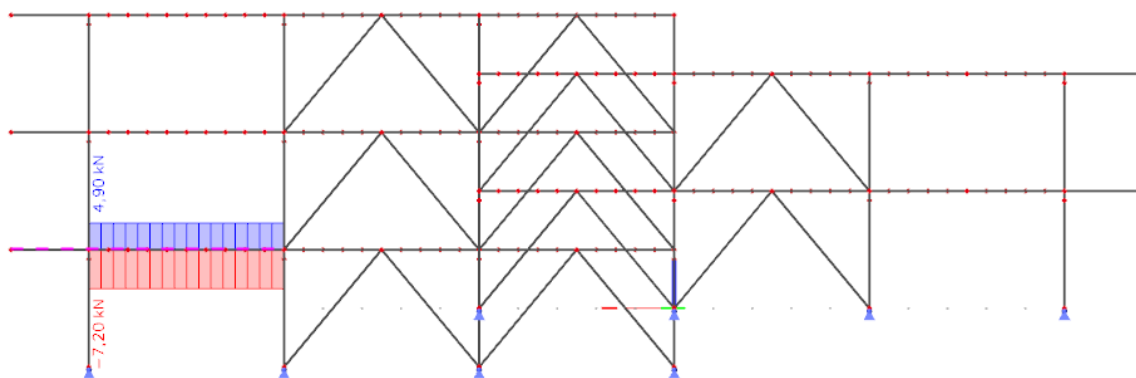
Redukovaná pevnost v ohybu:

$$f_{m,d} = k_{crit} \cdot f_{m,k} = 1,0 \cdot 14,77 = 14,77 \text{ MPa}$$

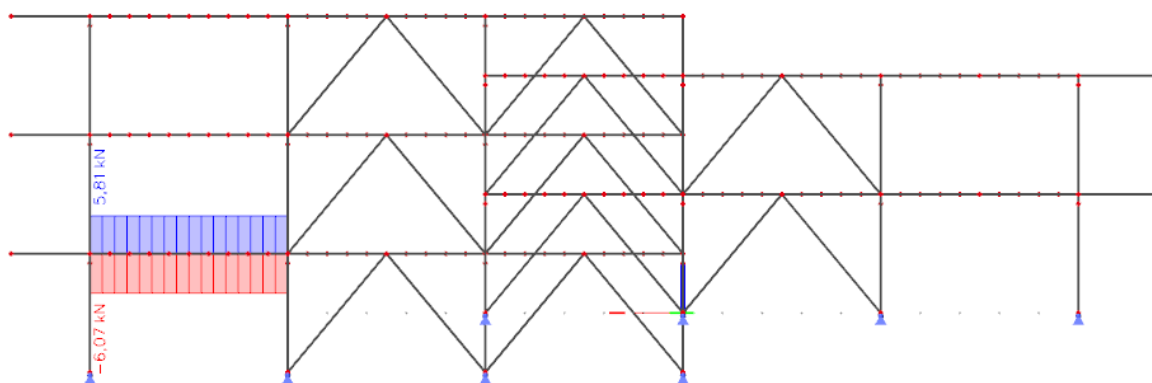
Pevnost v tlaku:

$$f_{c,d} = k_c \cdot f_{c,k} = 0,59 \cdot 12,92 = 7,67 \text{ MPa}$$

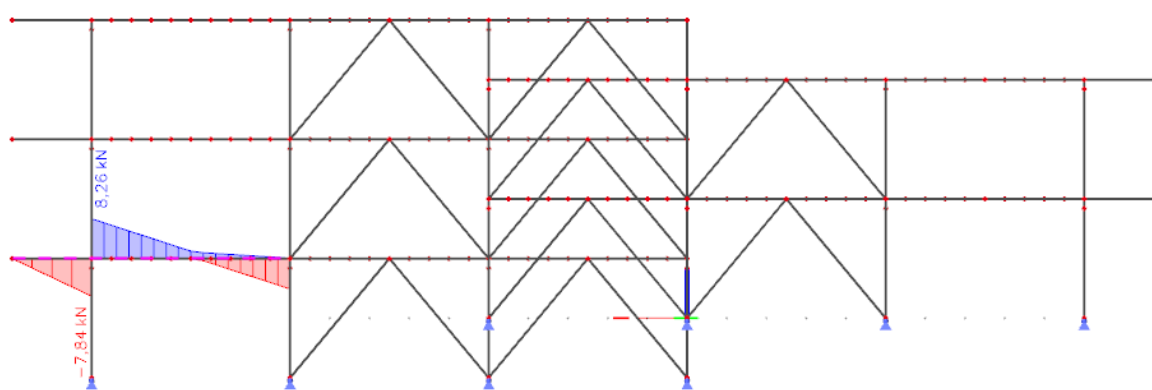
### 8.3.2 Vnitřní síly



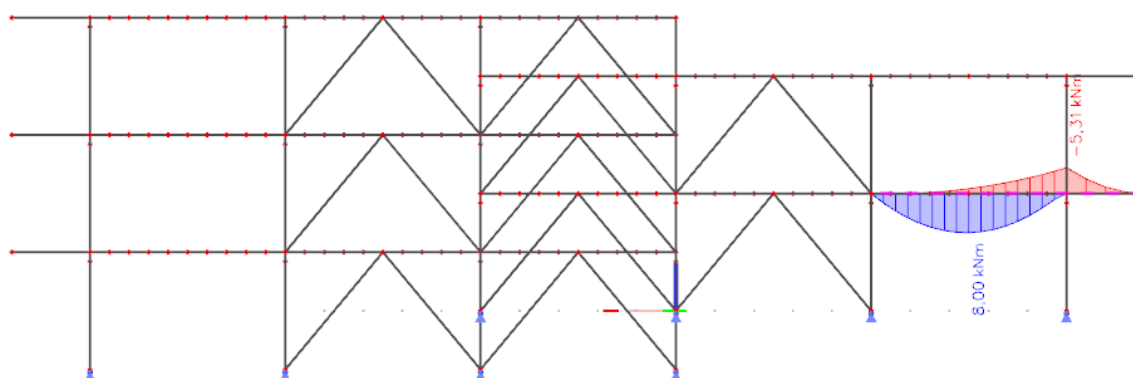
Obr. 8.14 Maximální tlaková síla



Obr. 8.15 Maximální tahová síla



Obr. 8.16 Maximální posouvající síla



Obr. 8.17 Maximální ohybový moment

Maximální normálová síla:

$$N_{c,max} = -7,20 \text{ kN}$$

$$N_{t,max} = 5,81 \text{ kN}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{max} = 8,26 \text{ kN}$$

Maximální ohybový moment:  $M_{max} = 8,0 \text{ kN}$

Reakce v podpoře:  $R = 16,1 \text{ kN}$

### 8.3.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

#### Maximální napětí

Tlak:  $\sigma_{c,d} = \frac{N_{c,max}}{A} = \frac{-7,20}{2,6 \cdot 10^{-2}} = -0,28 \text{ MPa}$

Tah:  $\sigma_{t,d} = \frac{N_{t,max}}{A} = \frac{5,81}{2,6 \cdot 10^{-2}} = 0,22 \text{ MPa}$

Ohyb:  $\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}}{W} = \frac{8,0}{1,13 \cdot 10^{-3}} = 7,10 \text{ MPa}$

Smyk:  $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{max}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,26}{1,74 \cdot 10^{-2}} = 0,71 \text{ MPa}$

Napětí v podpoře:  $\sigma_{c,90,d} = \frac{R}{A} = \frac{16,1}{2,6 \cdot 10^{-2}} = 0,62 \text{ MPa}$

#### Posouzení

Vzpěr:  $\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,c,d}} \leq 1$

$$\frac{-0,28}{7,67} \leq 1$$

$$0,04 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Tah:  $\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} \leq 1$

$$\frac{0,22}{8,62} \leq 1$$

$$0,03 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace tlaku a ohybu:  $\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,c,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$$\frac{-0,28}{7,67} + \frac{7,1}{14,77} \leq 1$$

$$0,52 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace tahu a ohybu:

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,22}{8,62} + \frac{7,1}{14,77} \leq 1$$

$$0,51 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,71}{2,46} \leq 1$$

$$0,29 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Napětí v podpoře:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} * f_{c,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,62}{1 * 1,54} \leq 1$$

$$0,40 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 8.3.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti

#### Podlaha v místnosti

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = 2,1 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení:

$$w_{inst,Q} = 7,4 \text{ mm}$$

Celkový okamžitý průhyb:

$$\begin{aligned} w_{inst} &= w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 2,1 + 7,4 = \\ &= 9,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Posouzení okamžitého průhybu:

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

$$9,5 \leq \frac{5000}{300}$$

$$9,5 \leq 16,67 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konečný průhyb od stálého zatížení:

$$\begin{aligned} w_{net,fin,G} &= w_{inst,G} * (1 + k_{def}) = \\ &= 2,1 * (1 + 0,6) = 3,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Konečný průhyb od proměnného zatížení:  $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} * (1 + \psi_2 * k_{def}) =$   
 $= 7,4 * (1 + 0,3 * 0,6) = 8,73 \text{ mm}$

Celkový konečný průhyb:  $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q} =$   
 $= 3,36 + 8,73 = 12,09 \text{ mm}$

Posouzení konečného průhybu:  $w_{net,fin} \leq \frac{l}{250}$   
 $12,09 \leq \frac{5000}{250}$   
 $12,09 \leq 20,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

### Podlaha balkonu

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:  $w_{inst,G} = -1,1 \text{ mm}$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení:  $w_{inst,Q} = 12,5 \text{ mm}$

Celkový okamžitý průhyb:  $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} =$   
 $= -1,1 + 12,5 = 11,4 \text{ mm}$

Posouzení okamžitého průhybu:  $w_{inst} \leq \frac{l}{150}$   
 $11,4 \leq \frac{2000}{150}$   
 $11,4 \leq 13,33 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Konečný průhyb od stálého zatížení:  $w_{net,fin,G} = 0 \text{ mm}$

Konečný průhyb od proměnného zatížení:  $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} * (1 + \psi_2 * k_{def}) =$   
 $= 12,5 * (1 + 0,3 * 0,6) = 14,75 \text{ mm}$

Celkový konečný průhyb:  $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q} =$   
 $= 0 + 14,75 = 14,75 \text{ mm}$



Posouzení konečného průhybu:

$$w_{net,fin} \leq \frac{l}{125}$$

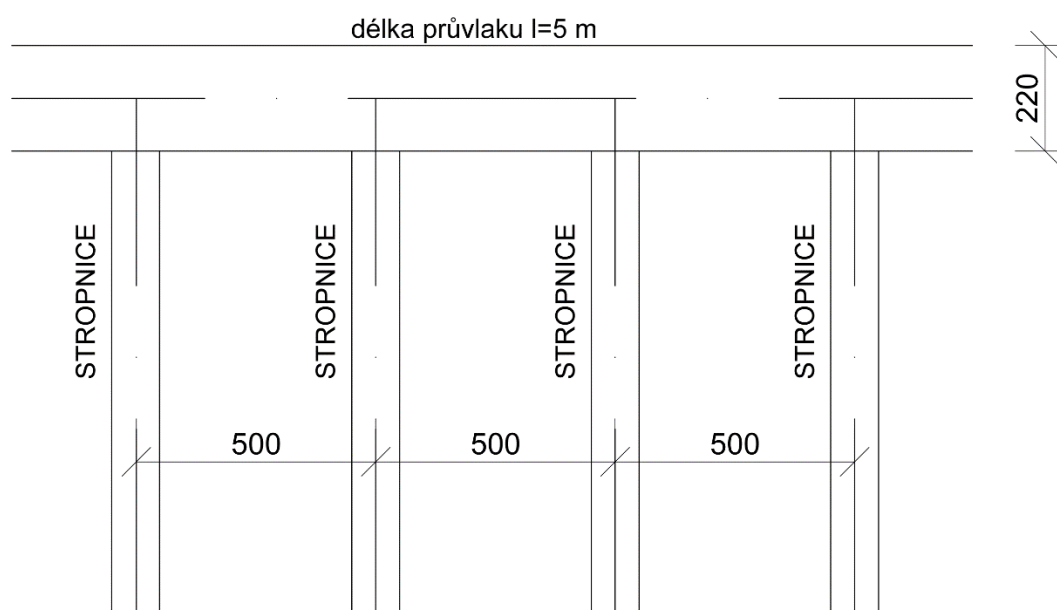
$$14,75 \leq \frac{2000}{125}$$

$$14,75 \leq 16 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.4 Návrh průvlaku

Průvlak je navržen z lepeného lamelového dřeva třídy GL32c o průřezu 220x360 mm. Kromě zatížení ze stropnic přenáší do sloupu také jednu čtvrtinu roznášecí šířky stropu. Spojení stropnice a průvlaku, uložených v jedné rovině, je zajištěno ocelovým třmenem firmy BOVA. Spojení stropnice s průvlakem, kdy stropnice je na průvlak uložena shora, je zajištěno ocelovými úhelníky.

Výpočet je proveden dle ČSN EN 1995-1-1 [9].



Obr. 8.18 Schéma připojení stropnic k průvlakům

### 8.4.1 Vstupní hodnoty

Materiál:

Lepené lamelové dřevo GL32c

Zatížení:

Střednědobé

Třída provozu:	1
Modul pružnosti:	$E_{0,mean} = 13700 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 11100 \text{ MPa}$
Hustota:	$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,8$
Součinitel dotvarování:	$k_{def} = 0,6$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,25$
Součinitel proměnného zatížení:	$\psi_2 = 0,3$
Součinitel:	$k_m = 0,7$

### Charakteristické pevnosti

Pevnost v ohybu:	$f_{m,k} = 32 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu kolmo k vláknům:	$f_{t,90,k} = 0,45 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku kolmo k vláknům:	$f_{c,90,k} = 3 \text{ MPa}$
Pevnost ve smyku:	$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$

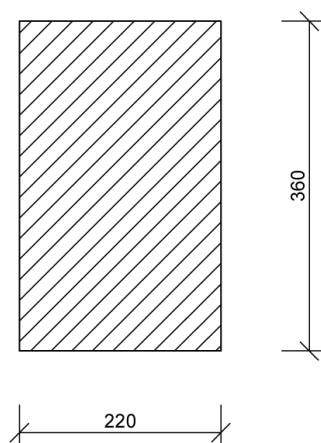
### Návrhové pevnosti

Pevnost v ohybu:	$f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 32}{1,25} = 20,48 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:	$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 19,5}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu kolmo k vláknům:	$f_{t,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 0,45}{1,25} = 0,29 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:	$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 26,5}{1,25} = 16,96 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku kolmo k vláknům:  $f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 3}{1,25} = 1,92 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku:  $f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 * 3,2}{1,25} = 2,05 \text{ MPa}$

### Průřezové charakteristiky



Obr. 8.19 Průřez průvlaku

Šířka:  $b = 220 \text{ mm}$

Výška:  $h = 360 \text{ mm}$

Délka:  $l = 5 \text{ m}$

Bezrozměrný součinitel:  $\alpha = 0,18$

$$\beta = 0,22$$

Plocha průřezu:  $A = b * h = 0,22 * 0,36 = 7,92 * 10^{-2} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti:

$$I_z = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 0,22 * 0,36^3 =$$

$$= 8,55 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} * h * b^3 = \frac{1}{12} * 0,36 * 0,22^3 =$$

$$= 3,19 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

Průřezový modul:

$$W_z = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 0,22 * 0,36^2 = \\ = 4,75 * 10^{-3} m^3$$

$$W_y = \frac{1}{6} * h * b^2 = \frac{1}{6} * 0,36 * 0,22^2 = \\ = 2,90 * 10^{-3} m^3$$

Průřezový modul v kroucení:

$$W_t = \beta * h * b^2 = 0,22 * 0,36 * 0,22^2 = \\ = 3,83 * 10^{-3} m^3$$

Poloha roviny nulového napětí:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{8,55 * 10^{-4}}{7,92 * 10^{-2}}} = 1,04 * 10^{-1} m$$

### Parametry průvlaku

Délka:

$$l = 5 m$$

Vzpěrná délka:

$$l_{cr,z} = 5 m$$

Součinitel přímosti:

$$\beta_c = 0,1$$

Účinná délka:

$$l_{ef} = 0,8 * l = 0,8 * 5 = 4 m$$

Součinitel vlivu trhlin:

$$k_{cr} = 0,67$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{5}{1,04 * 10^{-1}} = 48,11$$

Poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{48,11}{\pi} * \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 0,75$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = \\ = 0,5 * [1 + 0,1 * (0,75 - 0,3) + 0,75^2] = 0,80$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,80 + \sqrt{0,80^2 - 0,75^2}} = 0,92$$

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0,05} = \frac{0,78 * 0,22^2}{0,36 * 4} * 11000 = \\ = 291,01 MPa$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{291,01}} = 0,33$$

Součinitel příčné a torzní stability:

$$1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 * \lambda_{rel,m} \quad \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$\frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

$$k_{crit} = 1$$

Součinitel tvaru:

$$k_{shape} = \min \left\{ 1 + 0,15 * \frac{h}{b} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1 + 0,15 * \frac{0,36}{0,22} \right\} = \min \left\{ 1,25 \right\} = 1,25$$

Pevnost v kroucení:

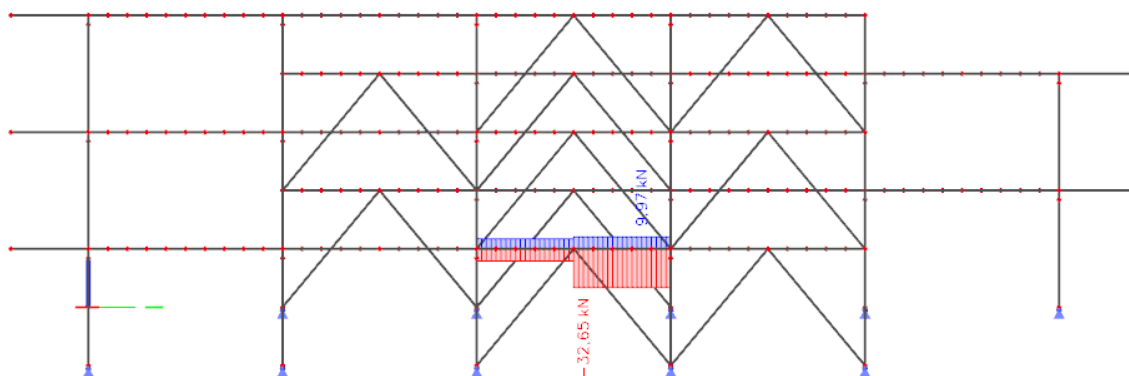
$$f_{tor,d} = k_{shape} * f_{v,d} = 1,25 * 2,05 = 2,55 \text{ MPa}$$

Efektivní průřez:

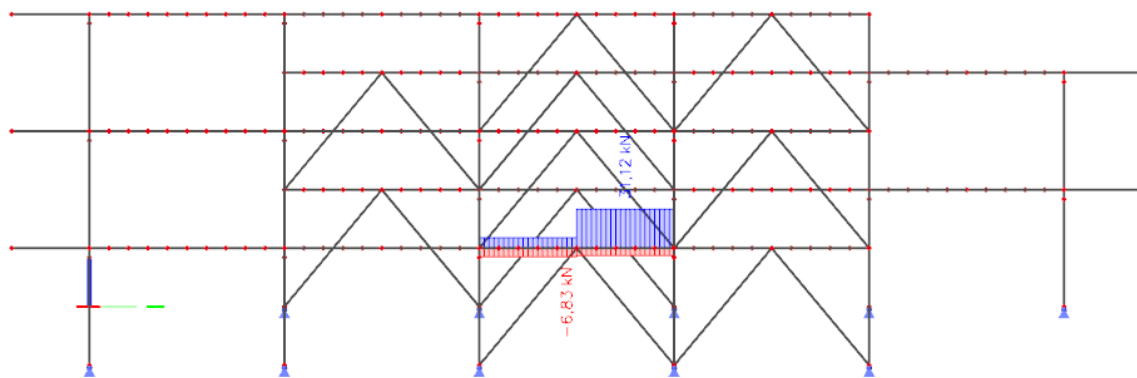
$$A_{ef} = k_{cr} * b * h = 0,67 * 0,22 * 0,36 =$$

$$= 5,31 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

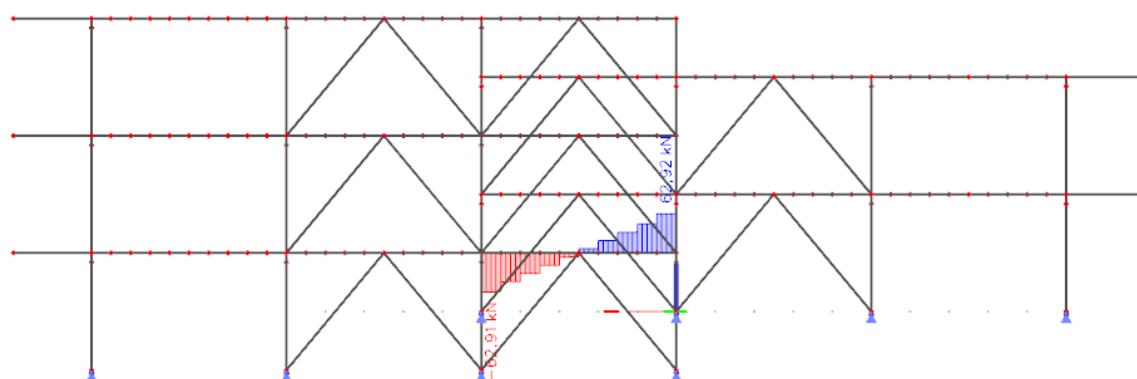
#### 8.4.2 Vnitřní síly



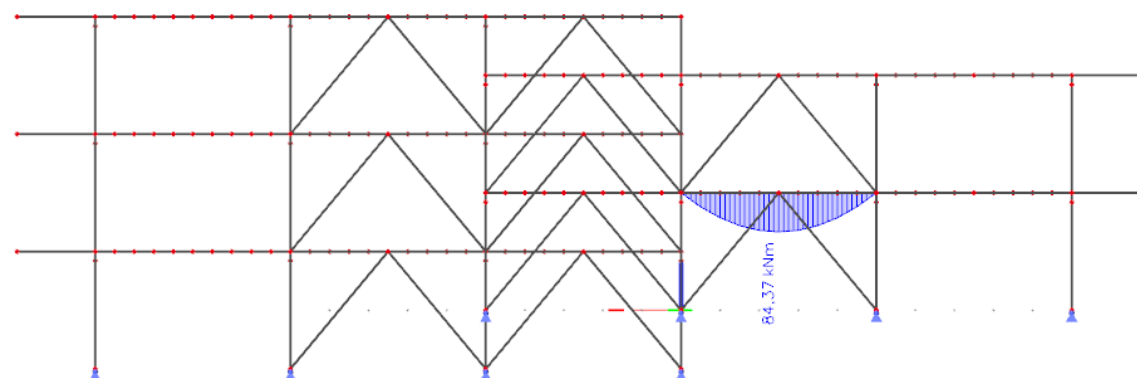
Obr. 8.20 Maximální tlaková síla



Obr. 8.21 Maximální tahová síla



Obr. 8.22 Maximální posouvající síla



Obr. 8.23 Maximální ohybový moment

Maximální ohybový moment:  $M_{y,max} = 84,37 \text{ kNm}$

$$M_{z,max} = 2,15 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla:  $V_{z,max} = 62,92 \text{ kN}$

$$V_{y,max} = 4,29 \text{ kN}$$

Maximální tlaková síla:  $N_{c,max} = -32,65 \text{ kN}$

Maximální tahová síla:  $N_{t,max} = 31,12 \text{ kN}$

Maximální kroutící moment:  $M_{x,max} = 1,29 \text{ kNm}$

### 8.4.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

#### Maximální napětí

Od normálové síly (tlak):  $\sigma_{c,d} = \frac{N_{c,max}}{A} = \frac{-32,65}{7,92 \cdot 10^{-2}} = -0,41 \text{ MPa}$

Od normálové síly (tah):  $\sigma_{t,d} = \frac{N_{t,max}}{A} = \frac{31,12}{7,92 \cdot 10^{-2}} = 0,39 \text{ MPa}$

Od ohybového momentu:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,max}}{W_y} = \frac{84,37}{4,75 \cdot 10^{-3}} = 17,75 \text{ MPa}$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,max}}{W_z} = \frac{2,15}{2,9 \cdot 10^{-3}} = 0,74 \text{ MPa}$$

Napětí ve smyku:  $\tau_{v,z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,max}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{62,92}{5,31 \cdot 10^{-2}} = 1,78 \text{ MPa}$

$$\tau_{v,y,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{y,max}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,29}{5,31 \cdot 10^{-2}} = 0,12 \text{ MPa}$$

Napětí v kroucení:  $\tau_{tor,d} = \frac{M_{x,max}}{W_t} = \frac{1,29}{3,83 \cdot 10^{-3}} = 0,34 \text{ MPa}$

## Posouzení

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{-0,42}{16,96}\right)^2 + \frac{17,75}{20,48} + 0,7 * \frac{0,74}{20,48} \leq 1$$

$$0,89 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace tahu a ohybu:

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,39}{12,48}\right)^2 + \frac{17,75}{20,48} + 0,7 * \frac{0,74}{20,48} \leq 1$$

$$0,92 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Smyk:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,78}{2,05} \leq 1$$

$$0,87 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kroucení:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{f_{tor,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,34}{2,55} \leq 1$$

$$0,13 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 8.4.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Okamžitý průhyb od stálého zatížení:

$$w_{inst,G} = 3,6 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení:

$$w_{inst,Q} = 11,6 \text{ mm}$$

Výsledný okamžitý průhyb:

$$\begin{aligned} w_{inst} &= w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 3,6 + 11,6 = \\ &= 15,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Konečný průhyb od stálého zatížení:

$$\begin{aligned} w_{net,fin,G} &= w_{inst,G} * (1 + k_{def}) = \\ &= 3,6 * (1 + 0,6) = 5,8 \text{ mm} \end{aligned}$$



Konečný průhyb od proměnného zatížení:  $w_{net,fin,Q} = w_{inst,Q} * (1 + \psi_2 * k_{def}) =$   
 $= 11,6 * (1 + 0,3 * 0,6) = 13,7 \text{ mm}$

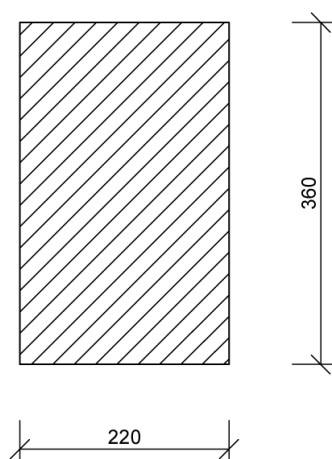
Výsledný konečný průhyb:  $w_{net,fin} = w_{net,fin,G} + w_{net,fin,Q} =$   
 $= 5,8 + 13,7 = 19,5 \text{ mm}$

Posouzení okamžitého průhybu:  $w_{inst} \leq \frac{l}{300}$   
 $15,2 \leq \frac{5000}{300}$   
 $15,2 \leq 16,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Posouzení konečného průhybu:  $w_{net,fin} \leq \frac{l}{250}$   
 $19,5 \leq \frac{5000}{250}$   
 $19,5 \leq 20,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

#### 8.4.5 Požární odolnost průvlaku

Pro výpočet požární odolnosti průvlaku byla použita metoda redukovaných vlastností. Výpočet byl proveden dle norem ČSN 73 0802 [1], ČSN EN 1995-1-2 [10] a literatury [14].



Obr. 8.24 Průřez průvlaku

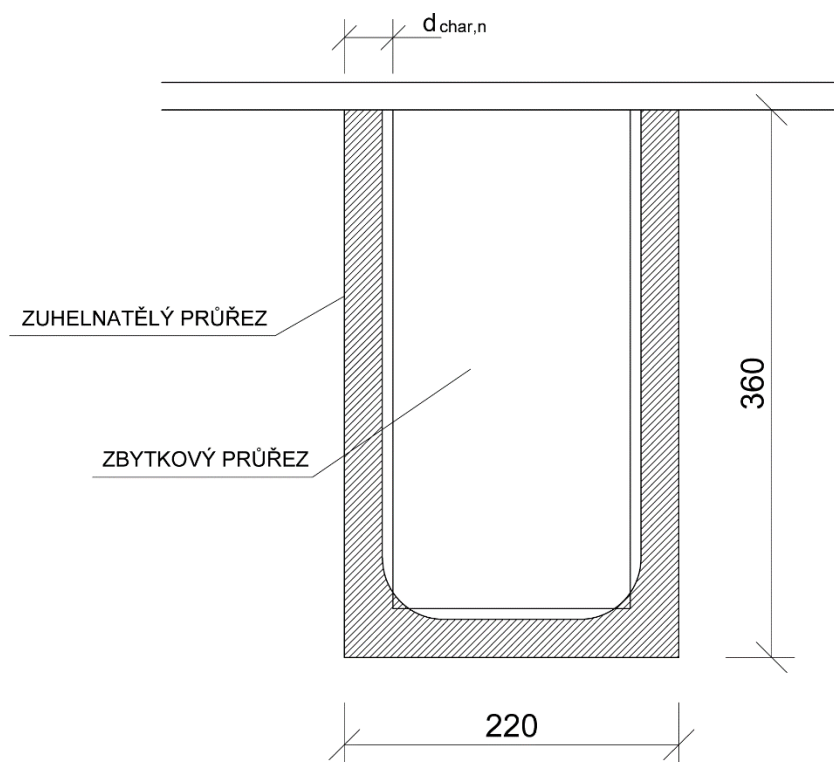
## Vstupní hodnoty

Šířka průřezu:	$b = 220 \text{ mm}$
Výška průřezu:	$h = 360 \text{ mm}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 11100 \text{ MPa}$
Délka:	$l = 5 \text{ m}$
Vzpěrná délka:	$l_{cr,z} = 5 \text{ m}$
Součinitel přímosti:	$\beta_c = 0,1$
Účinná délka:	$l_{ef} = 0,8 * l = 0,8 * 5 = 4 \text{ m}$
Součinitel vlivu trhlin:	$k_{cr} = 0,67$
Bezrozměrný součinitel:	$\alpha = 0,18$
	$\beta = 0,22$
Součinitel (pro lepené lamelové dřevo):	$k_{fi} = 1,1$
Redukční součinitel:	$n_{fi} = 0,6$
Bezpečnostní součinitel:	$\gamma_{M,fi} = 1$
Rychlost zuhelnatění (pro LLD):	$\beta_n = 0,7$

## Vnitřní síly za požáru

Maximální tlaková síla:	$N_{c,d,fi} = n_{fi} * N_{d,c} = 0,6 * (-32,65) = -19,59 \text{ kN}$
Maximální tahová síla:	$N_{t,d,fi} = n_{fi} * N_{d,t} = 0,6 * 31,12 = 18,67 \text{ kN}$
Maximální posouvající síla:	$V_{z,d,fi} = n_{fi} * V_{d,z} = 0,6 * 62,92 = 37,75 \text{ kN}$
	$V_{y,d,fi} = n_{fi} * V_{d,y} = 0,6 * 4,29 = 2,57 \text{ kN}$
Maximální ohybový moment:	$M_{y,d,fi} = n_{fi} * M_{y,d} = 0,6 * 84,37 = 50,62 \text{ kNm}$
	$M_{z,d,fi} = n_{fi} * M_{z,d} = 0,6 * 2,15 = 1,29 \text{ kNm}$
Maximální kroutící moment:	$M_{x,d,fi} = n_{fi} * M_{x,d} = 0,6 * 1,29 = 0,77 \text{ kNm}$

## Průřezové charakteristiky za požáru



Obr. 8.25 Hloubka zuhelnatění

Hloubka zuhelnatění:

$$d_{char} = \beta_n * t$$

Šířka průřezu:

$$b_{fi} = b - 2 * d_{char}$$

Výška průřezu:

$$h_{fi} = h - d_{char}$$

Plocha průřezu:

$$A_{fi} = b_{fi} * h_{fi}$$

Moment setrvačnosti:

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} * b_{fi} * h_{fi}^3$$

$$I_{y,fi} = \frac{1}{12} * h_{fi} * b_{fi}^3$$

Průřezový modul:

$$W_{z,fi} = \frac{1}{6} * b_{fi} * h_{fi}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} * h_{fi} * b_{fi}^2$$

Průřezový modul v kroucení:

$$W_{t,fi} = \beta * h_{fi} * b_{fi}^2$$

Poloha roviny nulového napětí:

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}}$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{z,fi} = \frac{l_{cr,z}}{i_{z,fi}}$$

Poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_{z,fi} = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,z,fi}^2]$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,z,fi}^2}}$$

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{0,78 * b_{fi}^2}{h_{fi} * l_{ef}} * E_{0,05}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}}$$

Součinitel příčné a torzní stability:

$$k_{crit} = 1 \quad pro \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75$$

Součinitel tvaru:

$$k_{shape,fi} = \min \left\{ 1 + 0,15 * \frac{h_{fi}}{b_{fi}}, 2 \right\}$$

Efektivní průřez:

$$A_{ef,fi} = k_{cr} * b_{fi} * h_{fi}$$

Zbytkový obvod průřezu:

$$p = b_{fi} + 2 * h_{fi}$$

Modifikační součinitel pro ohyb:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{p}{A_{fi}}$$

Modifikační součinitel pro tlak:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{p}{A_{fi}}$$

Modifikační součinitel pro tah:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{330} * \frac{p}{A_{fi}}$$

## Návrhová pevnost

Ohyb:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

Tlak:

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

Tah:

$$f_{t,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{t,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

Smyk: 
$$f_{v,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

Kroucení: 
$$f_{tor,d,fi} = k_{shape,fi} * f_{v,d,fi}$$

## Maximální napětí

Ohyb: 
$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{y,d,fi}}{W_{y,fi}}$$

$$\sigma_{m,z,d,fi} = \frac{M_{z,d,fi}}{W_{z,fi}}$$

Tlak: 
$$\sigma_{c,d,fi} = \frac{N_{c,d,fi}}{A_{fi}}$$

Tah: 
$$\sigma_{t,d,fi} = \frac{N_{t,d,fi}}{A_{fi}}$$

Smyk: 
$$\tau_{v,z,d,fi} = \frac{3}{2} * \frac{V_{z,d,fi}}{A_{ef,fi}}$$

$$\tau_{v,y,d,fi} = \frac{3}{2} * \frac{V_{y,d,fi}}{A_{ef,fi}}$$

Kroucení: 
$$\tau_{tor,d,fi} = \frac{M_{x,d,fi}}{W_{t,fi}}$$

## Posouzení

Kombinace tlaku a ohybu: 
$$\left( \frac{\sigma_{c,d,fi}}{f_{c,d,fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

Kombinace tahu a ohybu: 
$$\left( \frac{\sigma_{t,d,fi}}{f_{t,d,fi}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

Smyk: 
$$\frac{\tau_{v,z,d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

$$\frac{\tau_{v,y,d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

Kroucení: 
$$\frac{\tau_{tor,d,fi}}{f_{tor,d,fi}} \leq 1$$

Tab. 8 Posouzení odolnosti průvlaku za požáru

t	5	30	60	75	78	79	80	
$d_{char}$	3,5	21	42	52,5	54,6	55,3	56	mm
$b_{fi}$	213	178	136	115	110,8	109,4	108	mm
$h_{fi}$	356,5	339	318	307,5	305,4	304,7	304	mm
$A_{fi}$	7,59E-02	6,03E-02	4,32E-02	3,54E-02	3,38E-02	3,33E-02	3,28E-02	m <sup>2</sup>
$I_{z,fi}$	8,04E-04	5,78E-04	3,64E-04	2,79E-04	2,63E-04	2,58E-04	2,53E-04	m <sup>4</sup>
$I_{y,fi}$	2,87E-04	1,59E-04	6,67E-05	3,90E-05	3,46E-05	3,32E-05	3,19E-05	m <sup>4</sup>
$W_{z,fi}$	4,51E-03	3,41E-03	2,29E-03	1,81E-03	1,72E-03	1,69E-03	1,66E-03	m <sup>3</sup>
$W_{y,fi}$	2,70E-03	1,79E-03	9,80E-04	6,78E-04	6,25E-04	6,08E-04	5,91E-04	m <sup>3</sup>
$W_{t,fi}$	3,56E-03	2,36E-03	1,29E-03	8,95E-04	8,25E-04	8,02E-04	7,80E-04	m <sup>3</sup>
$i_{z,fi}$	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	m
$\lambda_{z,fi}$	48,58	51,09	54,47	56,33	56,71	56,84	56,98	
$\lambda_{rel,z,fi}$	0,76	0,79	0,85	0,88	0,88	0,88	0,89	
$k_{z,fi}$	0,81	0,84	0,89	0,91	0,92	0,92	0,92	
$k_{c,z,fi}$	0,91	0,90	0,87	0,86	0,85	0,85	0,85	
$\sigma_{m,crit,fi}$	275,46	202,30	125,89	93,09	87,01	85,02	83,05	MPa
$\lambda_{rel,m,fi}$	0,34	0,40	0,50	0,59	0,61	0,61	0,62	
$k_{crit,fi}$	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	
$k_{shape,fi}$	1,25	1,29	1,35	1,40	1,41	1,42	1,42	
$A_{ef,fi}$	5,09E-02	4,04E-02	2,90E-02	2,37E-02	2,27E-02	2,23E-02	2,20E-02	m <sup>2</sup>
p	0,93	0,86	0,77	0,73	0,72	0,72	0,72	m
$k_{mod,m,fi}$	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,89	0,89	
$k_{mod,c,fi}$	0,90	0,89	0,86	0,83	0,83	0,83	0,83	
$k_{mod,t,fi}$	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	
$f_{m,d,fi}$	33,05	32,70	32,06	31,57	31,45	31,40	31,36	MPa
$f_{t,0,d,fi}$	20,66	20,53	20,29	20,11	20,06	20,05	20,03	MPa
$f_{t,90,d,fi}$	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	MPa
$f_{c,0,d,fi}$	26,31	25,84	24,99	24,34	24,18	24,12	24,06	MPa
$f_{c,90,d,fi}$	2,98	2,93	2,83	2,76	2,74	2,73	2,72	MPa
$f_{v,d,fi}$	3,18	3,12	3,02	2,94	2,92	2,91	2,91	MPa
$f_{tor,d,fi}$	3,97	4,01	4,08	4,12	4,13	4,13	4,13	MPa
$\sigma_{m,y,d,fi}$	11,22	14,85	22,08	27,93	29,39	29,90	30,43	MPa
$\sigma_{m,z,d,fi}$	0,48	0,72	1,32	1,90	2,06	2,12	2,18	MPa
$\sigma_{c,d,fi}$	-0,26	-0,45	-0,32	-0,45	-0,55	-0,58	-0,59	MPa
$\sigma_{t,d,fi}$	0,25	0,25	0,31	0,43	0,53	0,55	0,56	MPa
$\tau_{v,z,d,fi}$	1,11	1,40	1,95	2,39	2,50	2,54	2,57	MPa
$\tau_{v,y,d,fi}$	0,08	0,10	0,13	0,16	0,17	0,17	0,18	MPa
$\tau_{tor,d,fi}$	0,22	0,33	0,60	0,87	0,94	0,96	0,99	MPa
C+M	0,35	0,47	0,72	0,93	0,98	1,00	1,02	
T+M	0,35	0,47	0,72	0,93	0,98	1,00	1,02	
$V_z$	0,35	0,45	0,65	0,81	0,86	0,87	0,89	
$V_y$	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	
$M_x$	0,05	0,08	0,15	0,21	0,23	0,23	0,24	
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	

Nechráněný průvlak ztratí únosnost při požáru po 79 minutách. Požadovaná požární odolnost je 60 minut, není proto nutná dodatečná požární ochrana.

## 8.5 Sloup

Sloup je navržen z lepeného lamelového dřeva třídy GL32c o průřezu 260x260 mm. Délka sloupu je 3 m. Spojení průvlaku a sloupu je zajištěno svařovanou ocelovou deskou, vlepenou do zářezů ve sloupu a svorníky. Výpočet byl proveden dle ČSN EN 1995-1-1 [9].

### 8.5.1 Vstupní hodnoty

Materiál:	Lepené lamelové dřevo GL32c
Zatížení:	Krátkodobé
Třída provozu:	1
Modul pružnosti:	$E_{0,mean} = 13700 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 11100 \text{ MPa}$
Hustota:	$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$
Součinitel dotvarování:	$k_{def} = 0,6$
Součinitel:	$k_m = 0,7$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,25$
Součinitel proměnného zatížení:	$\psi_2 = 0,3$
Součinitel vlivu trhlin:	$k_{cr} = 0,67$
Součinitel přímosti:	$\beta = 0,1$

### Charakteristické pevnosti

Pevnost v ohybu:	$f_{m,k} = 32 \text{ MPa}$
------------------	----------------------------

Pevnost v tahu:  $f_{t,k} = 19,5 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku:  $f_{c,k} = 26,5 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku:  $f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$

### Návrhové pevnosti

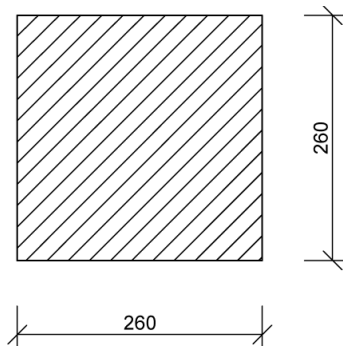
Pevnost v ohybu:  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 32}{1,25} = 23,04 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:  $f_{t,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 19,5}{1,25} = 14,04 \text{ MPa}$

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:  $f_{c,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 26,5}{1,25} = 19,08 \text{ MPa}$

Pevnost ve smyku:  $f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 3,2}{1,25} = 2,3 \text{ MPa}$

### Průřezové charakteristiky



Obr. 8.26 Průřez sloupu

Šířka:  $a = 260 \text{ mm}$

Délka:  $l = 3 \text{ m}$

Vzpěrná délka:  $l_{cr,z} = 3 \text{ m}$

Plocha průřezu:  $A = a * a = 0,26 * 0,26 = 6,76 * 10^{-2} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti:  $I = \frac{1}{12} * a^4 = \frac{1}{12} * 0,26^4 = 3,81 * 10^{-4} \text{ m}^4$



Průřezový modul:

$$W = \frac{1}{6} * a^3 = \frac{1}{6} * 0,26^3 = 2,93 * 10^{-3} m^3$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2,93 * 10^{-4}}{6,76 * 10^{-2}}} = 7,51 * 10^{-2} m$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{3}{7,51 * 10^{-2}} = 39,97$$

Poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,k}}{E_{0,05}}} = \frac{39,97}{\pi} * \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 0,62$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] =$$

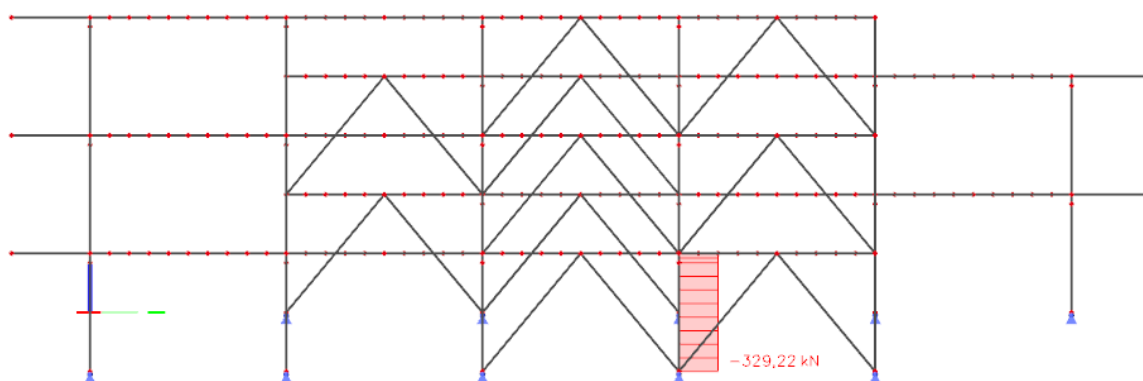
$$= 0,5 * [1 + 0,1 * (0,62 - 0,3) + 0,62^2] = 0,71$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,62^2}} = 0,95$$

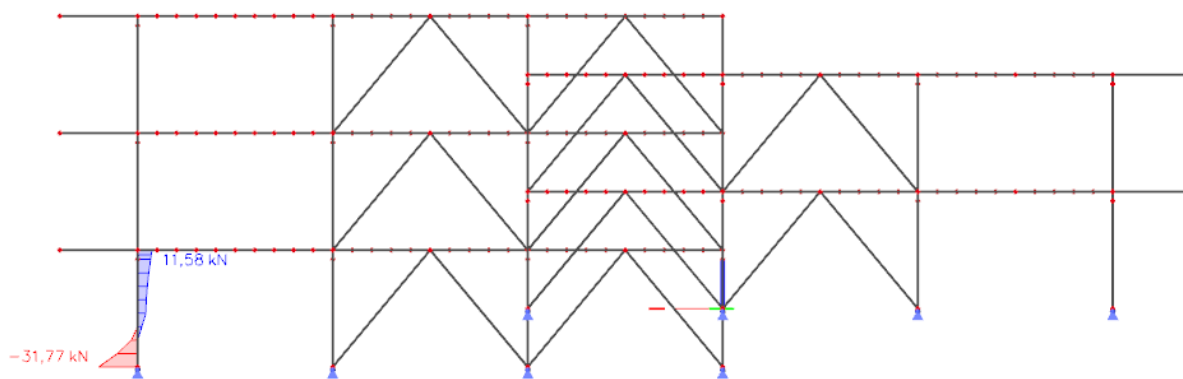
Efektivní plocha:

$$A_{ef} = k_{cr} * a^2 = 0,67 * 0,26^2 = 4,53 * 10^{-2} m^2$$

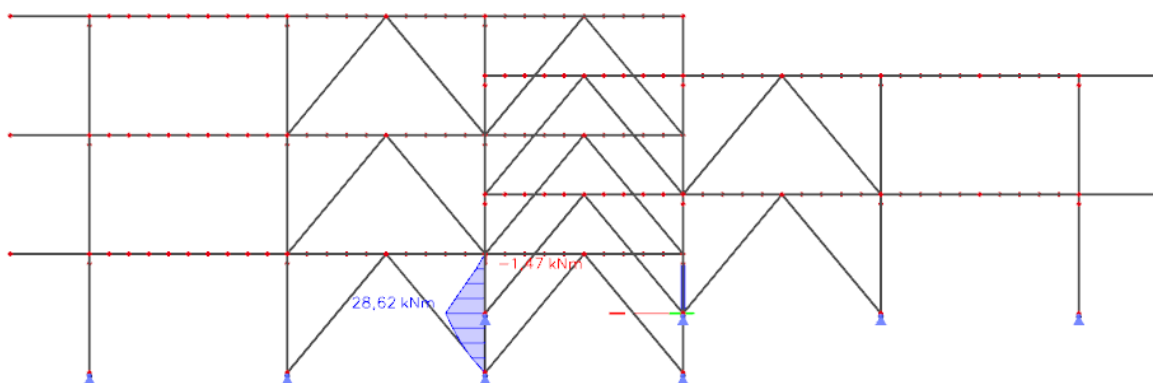
## 8.5.2 Vnitřní síly



Obr. 8.27 Maximální normálová síla



Obr. 8.28 Maximální posouvající síla



Obr. 8.29 Maximální ohybový moment

Maximální tlaková síla:  $N_{max} = -329,22 \text{ kN}$

Maximální ohybový moment:  $M_{max} = 28,62 \text{ kNm}$

Maximální posouvající síla:  $V_{max} = 31,77 \text{ kN}$

### 8.5.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

#### Maximální napětí

Od normálové síly:  $\sigma_{c,d} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{329,22}{6,76 \cdot 10^{-2}} = 4,87 \text{ MPa}$

Od ohybového momentu:  $\sigma_{m,d} = \frac{M_{max}}{W} = \frac{28,62}{2,93 \cdot 10^{-3}} = 9,77 \text{ MPa}$

Ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} * \frac{V_{max}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} * \frac{31,77}{4,53 * 10^{-2}} = 1,05 \text{ MPa}$$

### Posouzení

Únosnost průřezu v tlaku při vzpěru:  $f_{c,c,d} = k_c * f_{c,d} = 0,95 * 19,8 = 18,16 \text{ MPa}$

Tlak:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,c,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,87}{18,16} \leq 1$$

$$0,27 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,c,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,87}{18,16} + \frac{9,77}{23,04} \leq 1$$

$$0,69 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Smyk:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,05}{2,30} \leq 1$$

$$0,46 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 8.5.4 Stlačení sloupu

### Okamžité stlačení

Okamžité stlačení od stálého zatížení:

$$\Delta l_{i,g} = \frac{N_{i,g} * l}{E * A_i}$$

Okamžité stlačení od proměnného zatížení:

$$\Delta l_{i,q} = \frac{N_{i,q} * l}{E * A_i}$$

Celkové okamžité stlačení:

$$\Delta l_i = \sum_{i=1}^3 \Delta l_{i,g} + \Delta l_{i,q}$$

### Konečné stlačení

Konečné stlačení od stálého zatížení:

$$\Delta l_{i,g,fin} = \Delta l_{i,g} * (1 + k_{def})$$

Konečné stlačení od proměnného zatížení:  $\Delta l_{i,q,fin} = \Delta l_{i,q} * (1 + \psi_2 * k_{def})$

Celkové konečné stlačení:  $\Delta l_{i,fin} = \Delta l_{i,g,fin} + \Delta l_{i,q,fin}$

Podlaží	Normálová síla	$\Delta l_{i,g}$	$\Delta l_{i,q}$	$\Delta l_{i,g,fin}$	$\Delta l_{i,q,fin}$
1	-329,22 kN	0,10 mm	0,08 mm	0,17 mm	0,10 mm
2	-173,41 kN	0,25 mm	0,45 mm	0,39 mm	0,53 mm
3	-46,62 kN	0,41 mm	0,90 mm	0,66 mm	1,06 mm
<b>Celkové stlačení</b>		<b>0,76 mm</b>	<b>1,43 mm</b>	<b>1,22 mm</b>	<b>1,69 mm</b>

#### Okamžité stlačení

Celkové okamžité stlačení od stálého zatížení:  $\Delta l_g = 0,76 \text{ mm}$

Celkové okamžité stlačení od proměnného zatížení:  $\Delta l_q = 1,43 \text{ mm}$

Celkové okamžité stlačení:  $\Delta l = 2,2 \text{ mm}$

#### Konečné stlačení

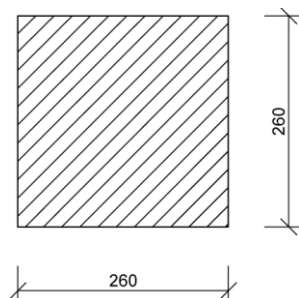
Celkové konečné stlačení od stálého zatížení:  $\Delta l_{g,fin} = 1,22 \text{ mm}$

Celkové konečné stlačení od proměnného zatížení:  $\Delta l_{q,fin} = 1,69 \text{ mm}$

Celkové konečné stlačení:  $\Delta l_{fin} = 2,91 \text{ mm}$

### 8.5.5 Sloup za požáru

Pro výpočet požární odolnosti průvlaku byla použita metoda redukovaných vlastností. Výpočet byl proveden dle norem ČSN 73 0802 [1], ČSN EN 1995-1-2 [10] a literatury [14].



Obr. 8.30 Průřez sloupu

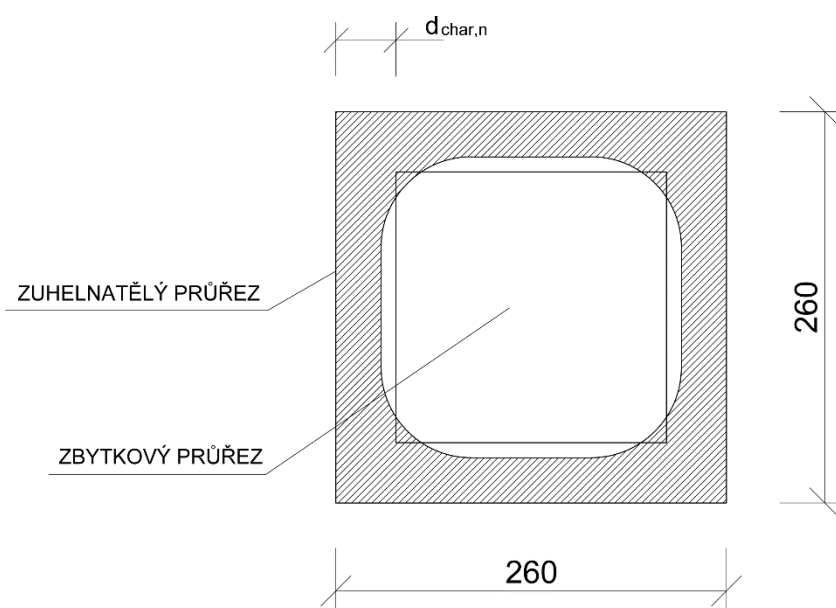
#### Vstupní hodnoty

Šířka a výška průřezu:	$a = 260 \text{ mm}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 11100 \text{ MPa}$
Délka:	$l = 3 \text{ m}$
Vzpěrná délka:	$l_{cr,z} = 3 \text{ m}$
Součinitel přímosti:	$\beta_c = 0,1$
Součinitel vlivu trhlin:	$k_{cr} = 0,67$
Součinitel (pro lepené lamelové dřevo):	$k_{fi} = 1,1$
Redukční součinitel:	$n_{fi} = 0,6$
Bezpečnostní součinitel:	$\gamma_{M,fi} = 1$
Rychlost zuhelnatění (pro LVL):	$\beta_n = 0,7$

#### Vnitřní síly za požáru

Maximální tlaková síla:	$N_{d,fi} = n_{fi} * N_d = 0,6 * (-328,01) = 196,81 \text{ kN}$
Maximální posouvající síla:	$V_{d,fi} = n_{fi} * V_d = 0,6 * 30,67 = 18,40 \text{ kN}$
Maximální ohybový moment:	$M_{d,fi} = n_{fi} * M_d = 0,6 * 17,64 = 10,584 \text{ kNm}$

## Průřezové charakteristiky za požáru



Obr. 8.31 Hloubka zuhelnatění

Hloubka zuhelnatění:

$$d_{char} = \beta_n * t$$

Šířka průřezu:

$$a_{fi} = a - 2 * d_{char}$$

Plocha průřezu:

$$A_{fi} = a_{fi}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I_{fi} = \frac{1}{12} * a_{fi}^4$$

Průřezový modul:

$$W_{fi} = \frac{1}{6} * a_{fi}^3$$

Poloha roviny nulového napětí:

$$i_{fi} = \sqrt{\frac{I_{fi}}{A_{fi}}}$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda_{fi} = \frac{l_{cr,z}}{i_{fi}}$$

Poměrný štíhlostní poměr:

$$\lambda_{rel,fi} = \frac{\lambda_{fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_{fi} = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,fi}^2]$$

$$k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{rel,fi}^2}}$$

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{0,78 * a_{fi}^2}{a_{fi} * l_{ef}} * E_{0,05}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}}$$

Součinitel příčné a torzní stability:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75$$

Efektivní průřez:

$$A_{ef,fi} = k_{cr} * a_{fi}^2$$

Zbytkový obvod průřezu:

$$p = 4 * a_{fi}$$

Modifikační součinitel pro ohyb:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} * \frac{p}{A_{fi}}$$

Modifikační součinitel pro tlak:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} * \frac{p}{A_{fi}}$$

## Návrhová pevnost

Ohyb:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

Tlak:

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{c,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$f_{c,c,d,fi} = k_c * f_{c,d,fi}$$

Smyk:

$$f_{v,d,fi} = k_{mod,fi} * k_{fi} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

## Maximální napětí

Ohyb:

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{fi}}$$

Tlak:

$$\sigma_{c,d,fi} = \frac{N_{c,d,fi}}{A_{fi}}$$

Smyk:

$$\tau_{v,d,fi} = \frac{3}{2} * \frac{V_{d,fi}}{A_{ef,fi}}$$

## Posouzení

Tlak: 
$$\frac{\sigma_{c,d,fi}}{f_{c,c,d,fi}} \leq 1$$

Kombinace tlaku a ohybu: 
$$\frac{\sigma_{c,d,fi}}{f_{c,c,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

Smyk: 
$$\frac{\tau_{v,d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

Tab. 9 Posouzení odolnosti sloupu za požáru

	5	15	30	45	60	62	63	
$d_{char}$	3,5	10,5	21	31,5	42	43,4	44,1	mm
$a_{fi}$	253	239	218	197	176	173,2	171,8	mm
$A_{fi}$	253	239	218	197	176	173,2	171,8	m <sup>2</sup>
$I_{fi}$	6,40E-02	5,71E-02	4,75E-02	3,88E-02	3,10E-02	3,00E-02	2,95E-02	m <sup>4</sup>
$W_{fi}$	3,41E-04	2,72E-04	1,88E-04	1,26E-04	8,00E-05	7,50E-05	7,26E-05	m <sup>3</sup>
$i_{fi}$	2,70E-03	2,28E-03	1,73E-03	1,27E-03	9,09E-04	8,66E-04	8,45E-04	m
$\lambda_{fi}$	7,30E-02	6,90E-02	6,29E-02	5,69E-02	5,08E-02	5,00E-02	4,96E-02	
$\lambda_{rel,fi}$	41,08	43,48	47,67	52,75	59,05	60,00	60,49	
$k_{fi}$	0,64	0,68	0,74	0,82	0,92	0,93	0,94	
$k_{c,fi}$	0,72	0,75	0,80	0,86	0,95	0,97	0,97	
$\sigma_{m,crit,fi}$	0,95	0,94	0,92	0,89	0,83	0,82	0,81	MPa
$\lambda_{rel,m,fi}$	730,16	689,75	629,15	568,54	507,94	499,86	495,81	
$k_{crit}$	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	
$A_{ef,fi}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	m <sup>2</sup>
$p$	4,29E-02	3,83E-02	3,18E-02	2,60E-02	2,08E-02	2,01E-02	1,98E-02	m
$k_{mod,m,fi}$	1,01	0,96	0,87	0,79	0,70	0,69	0,69	
$k_{mod,c,fi}$	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	
$f_{c,0,d,fi}$	0,87	0,87	0,85	0,84	0,82	0,82	0,81	MPa
$f_{c,c,d,fi}$	25,46	25,25	24,87	24,41	23,85	23,76	23,72	MPa
$f_{m,d,fi}$	24,13	23,69	22,84	21,63	19,78	19,47	19,30	MPa
$f_{v,d,fi}$	32,42	32,25	31,97	31,63	31,20	31,14	31,10	MPa
$\sigma_{c,d,fi}$	3,07	3,05	3,00	2,95	2,88	2,87	2,86	MPa
$\sigma_{m,d,fi}$	3,09	3,46	4,16	5,09	6,38	6,58	6,69	MPa
$\tau_{v,d,fi}$	6,36	7,55	9,94	13,48	18,90	19,83	20,32	MPa
$C$	0,67	0,75	0,90	1,10	1,38	1,42	1,45	
$C+M$	0,13	0,15	0,18	0,24	0,32	0,34	0,35	
$V$	0,32	0,38	0,49	0,66	0,93	0,98	1,00	
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	

Nechráněný sloup ztratí únosnost při požáru po 62 minutách. Požadovaná požární odolnost je 60 minut, není proto nutná dodatečná požární ochrana.



## 8.6 Ztužení

Svislé ztužení objektu je zajištěno systémem tlačných vzpěr. Tyto vzpěry jsou navrženy z rostlého dřeva třídy C24 o průřezu 140x140 mm. Délka jednoho prvku je 3,91 m. Spoje ztužidel s průvlaky a sloupy jsou řešeny pomocí vložených ocelových plechů. Výpočet je proveden dle ČSN EN 1995-1-1.

### 8.6.1 Vstupní hodnoty

Materiál:	Rostlé dřevo C24
Zatížení:	Krátkodobé
Třída provozu:	1
Modul pružnosti:	$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$
5% kvantil modulu pružnosti:	$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$
Hustota:	$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,9$
Součinitel dotvarování:	$k_{def} = 0,6$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_m = 1,3$
Součinitel přímosti:	$\beta = 0,2$

### Charakteristické pevnosti

Pevnost v tahu:	$f_{t,k} = 14 \text{ MPa}$
Pevnost v tlaku:	$f_{c,k} = 21 \text{ MPa}$

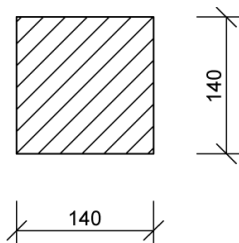
### Návrhové pevnosti

Pevnost v tahu:	$f_{t,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 14}{1,3} = 9,69 \text{ MPa}$
-----------------	--

Pevnost v tlaku:

$$f_{c,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 * 21}{1,3} = 14,54 \text{ MPa}$$

### Průřezové charakteristiky



Obr. 8.32 Průřez ztužidla

Šířka průřezu:

$$b = 140 \text{ mm}$$

Výška průřezu:

$$h = 140 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka:

$$l_{cr,z} = 3,91 \text{ m}$$

Plocha průřezu:

$$A = b * h = 0,14 * 0,14 = 1,96 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I = \frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 0,14 * 0,14^3 =$$
$$= 3,2 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{3,2 * 10^{-5}}{1,96 * 10^{-2}}} = 4,04 * 10^{-2} \text{ m}$$

Štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{3,91}{4,04 * 10^{-2}} = 96,75$$

Poměrný štíhlostní poměr:

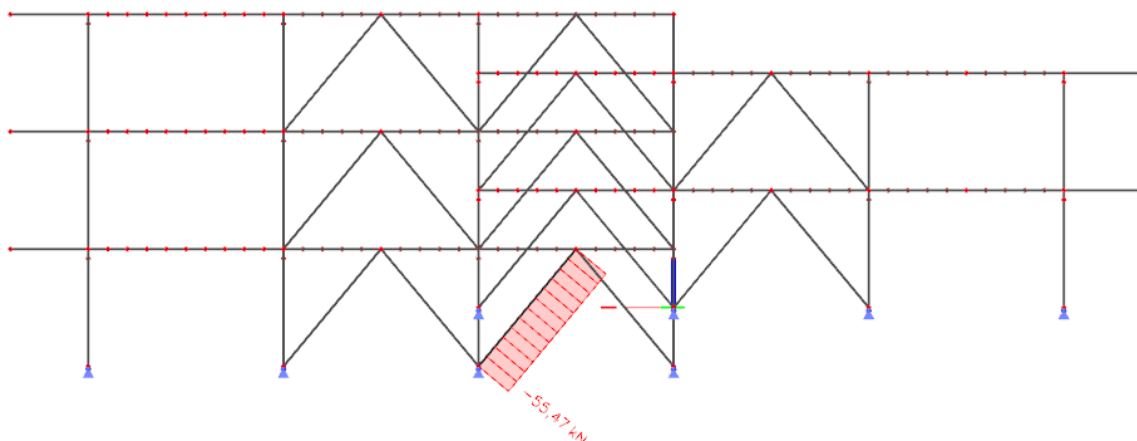
$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,k}}{E_{0,05}}} = \frac{96,75}{\pi} * \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,64$$

Součinitel vzpěrnosti:

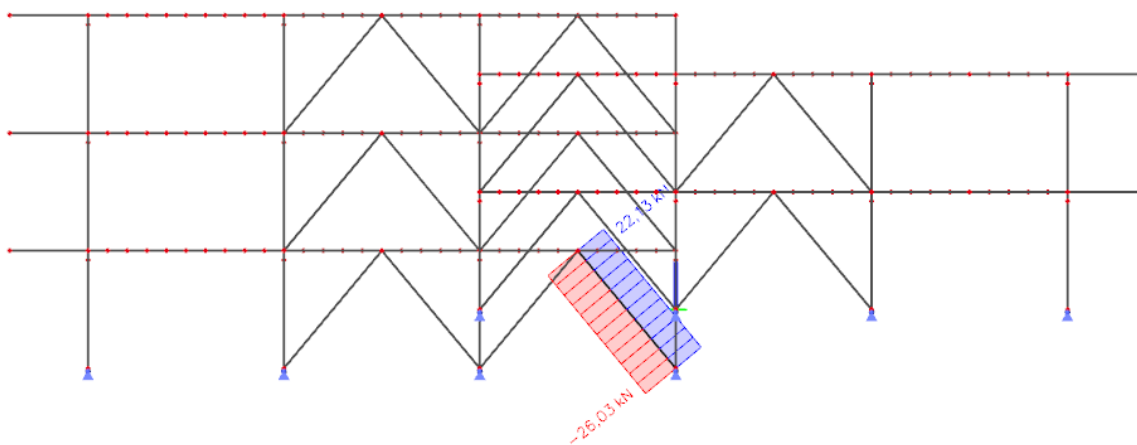
$$k = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] =$$
$$= 0,5 * [1 + 0,2 * (1,64 - 0,3) + 1,64^2] = 1,98$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,98 + \sqrt{1,98^2 - 1,64^2}} = 0,32$$

### 8.6.2 Vnitřní síly



Obr. 8.33 Maximální tlaková síla



Obr. 8.34 Maximální tahová síla

Maximální tlaková síla:  $N_{max,c} = -55,47 \text{ kN}$

Maximální tahová síla:  $N_{max,t} = 22,13 \text{ kN}$

### 8.6.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

#### Maximální napětí

V tlaku: 
$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{max,c}}{A} = \frac{55,47}{1,96 \cdot 10^{-2}} = 2,83 \text{ MPa}$$

V tahu:

$$\sigma_{t,d} = \frac{N_{max,t}}{A} = \frac{22,13}{1,96 \cdot 10^{-2}} = 1,13 \text{ MPa}$$

### Posouzení

Únosnost průřezu v tlaku při vzpěru:  $f_{c,c,d} = k_c * f_{c,d} = 0,32 * 14,54 = 4,71 \text{ MPa}$

Tlak:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,c,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,83}{4,71} \leq 1$$

$$0,60 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Tah:

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,13}{9,69} \leq 1$$

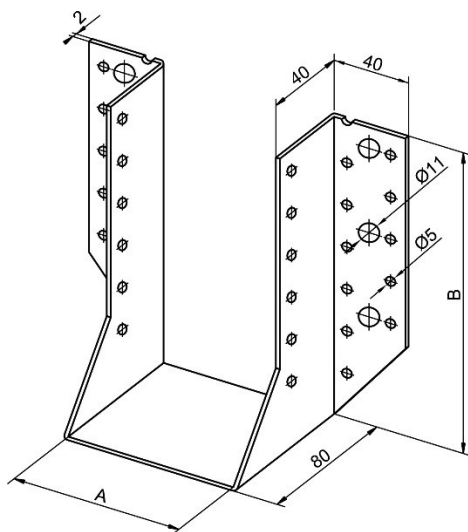
$$0,12 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$



## 9. NÁVRH NOSNÝCH SPOJŮ

### 9.1 Napojení stropnice na průvlak

Pro provedení spoje stropnice s průvlakem jsou navrženy ocelové třmeny firmy BOVA BV/T – 80 11-25 [28]. Tloušťka plechu je 2 mm, šířka třmenu je 80 mm a výška 140 mm. Výpočet je proveden dle ČSN EN 1995-1-1 [9].



Obr. 9.1 Třmen BV/T - 80 11-25

Materiál:	Lepené lamelové dřevo GL32c
	Pozinkovaný plech Z275
Zatížení stropu:	Střednědobé
Třída provozu:	1
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_M = 1,25$
Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,8$
Mez kluzu ocelového plechu:	$f_y = 275 \text{ MPa}$
Tloušťka plechu:	$t_2 = 2 \text{ mm}$
Rozměry ocelového třmene:	$a = 140 \text{ mm}$
	$b = 80 \text{ mm}$

Hustota dřeva:	$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$
Pevnostní třída hřebíku:	3.6
Pevnost hřebíku:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
Průměr hřebíku:	$d = 4 \text{ mm}$
Délka hřebíku:	$l = 40 \text{ mm}$
Rozteče hřebíků:	$a_1 = 20 \text{ mm}$
Vnik hřebíku do dřeva:	$t_1 = 38 \text{ mm}$
Posouvající síla od stropnice:	$R = 6,77 \text{ kN}$
Podmínka pro tenkou desku:	$t_p \leq 0,5 * d$ $2 \leq 0,5 * 4$ $2 \leq 2 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$
Plastický moment únosnosti:	$M_{y,Rk} = 0,3 * f_u * d^{2,6} = 0,3 * 300 * 4^{2,6} =$ $= 3308,25 \text{ Nmm}$
Pevnost v otlačení dřeva:	$f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} = 0,082 * 410 * 4^{-0,3} =$ $= 22,18 \text{ MPa}$
Tenká deska:	$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 * f_{h,k} * t_1 * d}{1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\} =$ $= \min \left\{ \frac{0,4 * 22,18 * 38 * 4}{1,15 * \sqrt{2 * 3308,25 * 22,18 * 4}} \right\} =$ $= \min \left\{ \frac{1348,6}{881,1} \right\} = 881,1 \text{ N}$
Počet hřebíků ve spoji:	$n = 16$
Návrhová únosnost spoje:	$F_{v,Rd} = n * \frac{k_{mod} * F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 16 * \frac{0,8 * 881,1}{1,25} = 9022,6 \text{ N}$

Posouzení únosnosti spoje:

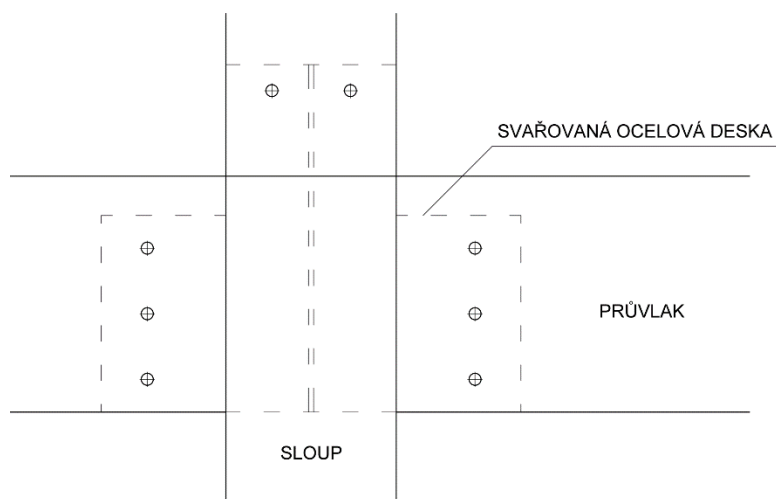
$$\frac{R}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{6,77}{9,02} \leq 1$$

$$0,75 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 9.2 Napojení průvlaku na sloup

Spojení průvlaku a sloupu je řešeno pomocí svařovaného ocelového plechu, který bude vlepen do předem připravených výřezů ve sloupu. Na vyčnívající ocelové desky poté bude nasunut průvlak a zajištěn svorníky. Jedná se o dvojstrážný spoj ocel-dřevo. Výpočet je proveden dle ČSN EN 1995-1-1 [9] a ČSN EN 1992-1-1 [8].



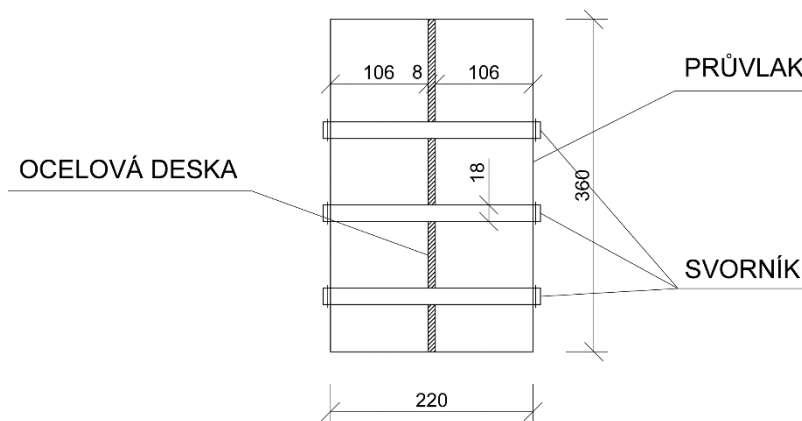
Obr. 9.2 Připojení průvlaku na sloup

### Vstupní hodnoty

Materiál:	Lepené lamelové dřevo GL32c
	Ocelový plech S275
Zatížení:	Střednědobé
Třída provozu:	1
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_M = 1,3$
Součinitel spolehlivosti pro ocel:	$\gamma_M = 1,15$



Modifikační součinitel:	$k_{mod} = 0,8$
Mez kluzu ocelového plechu:	$f_{y,k} = 275 \text{ MPa}$
	$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{275}{1,15} = 239,13 \text{ MPa}$
Pevnostní třída svorníku:	3.6
Pevnost svorníku:	$f_{u,k} = 300 \text{ MPa}$
Hustota dřeva:	$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$
Průměr svorníku:	$d = 18 \text{ mm}$
Tloušťka plechu:	$t_0 = 8 \text{ mm}$
Hloubka vniku svorníku do dřeva:	$t_1 = 106 \text{ mm}$
Velikost otvoru v plechu:	$d_o = 20 \text{ mm}$
Počet svorníků v řadě:	$n = 3$
Plastický moment únosnosti:	$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 300 * 18^{2,6} =$ $= 165177,55 \text{ Nmm}$
Pevnost v otlacení rovnoběžně s vlákny:	$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k =$ $= 0,082 * (1 - 0,01 * 18) * 410 =$ $= 27,57 \text{ N/mm}^2$



Obr. 9.3 Řez dvojsřizným spojem ocel-dřevo

Ocelové deska libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,0,k} * t_1 * d * \left[ \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,0,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,0,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 52600,51 \\ 23959,87 \\ 20823,10 \end{array} \right\} = 20823,10 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje:

$$F_{v,Rd} = 2 * n * \frac{k_{mod} * F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 2 * 3 * \frac{0,8 * 20823,10}{1,3} = 76885,29 \text{ N}$$

Posouvající síla od průvlaku:

$$R = 62920 \text{ N}$$

Posouzení:

$$\frac{R}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{62920}{76885,29} \leq 1,0$$

$$0,81 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení ocelové desky**

Tloušťka průřezu desky:

$$t = 8 \text{ mm}$$

Výška průřezu desky:

$$h = 300 \text{ mm}$$

Plocha průřezu:

$$A = t * h = 0,008 * 0,3 = 1,8 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Výška oslabeného průřezu:

$$h_{osl} = h - (n * d_o) = 300 - (3 * 20) = 240 \text{ mm}$$

Plocha oslabeného průřezu:

$$A_{osl} = t * h_{osl} = 0,008 * 0,240 = 1,44 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Napětí ve smyku:

$$\tau_{v,d} = \frac{\sqrt{3} * V_{Ed}}{A_{osl}} = \frac{\sqrt{3} * 62,92}{1,44 * 10^{-3}} = 75,68 \text{ MPa}$$

Posouzení napětí ve smyku:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{y,d}} \leq 1$$

$$\frac{75,68}{239,13} \leq 1$$

$$0,32 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

Normálové napětí:

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{Ed}}{A_{osl}} = \frac{32,65}{1,44 \cdot 10^{-3}} = 18,14 \text{ MPa}$$

Posouzení normálového napětí:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{f_{y,d}} \leq 1$$

$$\frac{18,14}{239,13} \leq 1$$

$$0,08 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení vzdáleností a roztečí spojovacích prostředků**

	Úhel	Minimální rozteče a vzdálenosti
Kolmo k vláknům:	$\alpha = 0^\circ$	$a_2 = 4d = 72 \text{ mm}$
Zatížený konec:	$\alpha = 0^\circ$	$a_{3,t} = \max(7d; 80) = 126 \text{ mm}$
Zatížený okraj:	$\alpha = 180^\circ$	$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \cdot \sin \alpha)d; 3d] =$ $= 54 \text{ mm}$
Nezatížený okraj:	$\alpha = 180^\circ$	$a_{4,c} = 3d = 54 \text{ mm}$

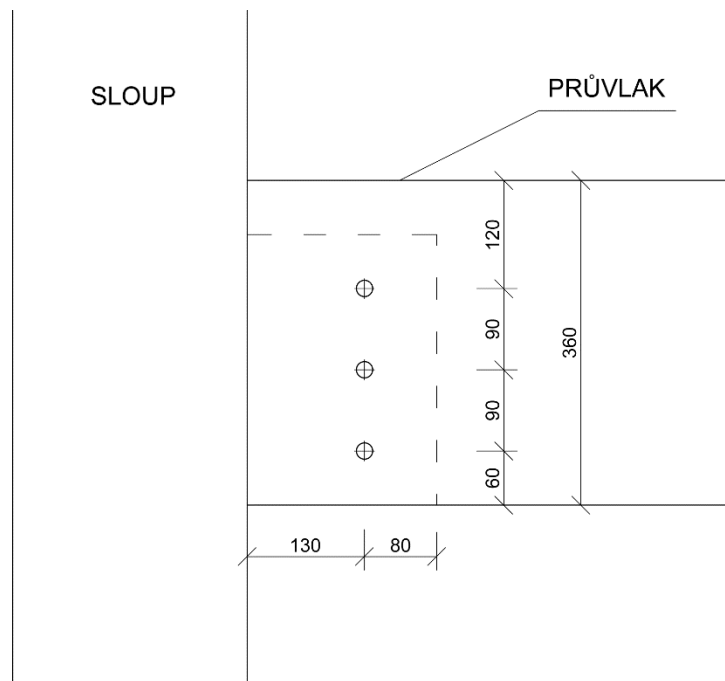
**Navržené rozteče**

$$a_2 = 90 \text{ mm} \quad \geq \quad 72 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$a_{3,t} = 130 \text{ mm} \quad \geq \quad 126 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$a_{4,t} = 60 \text{ mm} \quad \geq \quad 54 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$a_{4,c} = 60 \text{ mm} \quad \geq \quad 54 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 9.4 Navržené rozteče



## 10. ZÁVĚR

V této diplomové práci byl dle zadání navržen třípodlažní obytný dům z materiálů na bázi dřeva. Jako nosný systém byl z důvodu variability prostorového uspořádání zvolen těžký dřevěný skelet. Uprostřed objektu bylo navrženo komunikační jádro ze železobetonu přispívající k prostorovému ztužení objektu. Spojení jádra a sloupů zajišťuje sloupy proti vodorovnému posunu a zároveň umožňuje svislý posun.

Hlavní nosná konstrukce, tedy sloupy a průvlaky, byla navržena z lepeného lamelového dřeva třídy GL32c. Pro sloupy byl použit průřez o rozměru 260x260 mm, pro průvlaky průřez o rozměru 220x360 mm.

Pro návrh stropnic a svislých ztužidel bylo použito rostlé dřevo třídy C24. Stropnice byly navrženy ve dvou průřezových rozměrech, 80x240 mm pro stropnice o délce 5 m tvořících stropní konstrukci v polích a 100x260 mm pro stropnice o délce 7 m tvořících konstrukci podlahy balkonu a stropu přilehlého pole.

Pro spojení a přenos sil mezi jednotlivými nosnými konstrukcemi byly použity ocelové plechy a desky společně s hřebíky a svorníky.

Součástí práce bylo také posouzení požární odolnosti nosné konstrukce. Průvlak i sloup na požární odolnost 60 minut vyhověly. Výpočtem bylo zjištěno, že nechráněný průvlak odolá účinkům požáru po dobu 79 minut a nechráněný sloup po dobu 62 minut. Nechráněná stropnice požáru odolá pouze po dobu 29 minut, musí být proto chráněna dvěma sádkartonovými deskami typu F.

Pro výpočet vnitřních sil byl použit program SCIA Engineer. V programu byla vymodelována prostorová konstrukce objektu. Model byl následně zatížen veškerým stálým a proměnným zatížením. Stálá zatížení zahrnují vlastní tíhu nosných konstrukcí, vlastní tíhy stropních a podlahových konstrukcí, střešní konstrukce, obvodového pláště a také tíhu šterkového zásypu. Zatížení proměnná zahrnují užitná zatížení stropních a střešních konstrukcí, zatížení od přemístitelných příček, užitné zatížení konstrukce balkonu a zatížení sněhem a větrem.



## POUŽITÉ ZDROJE

### Normy:

- [1] ČSN 73 0802: Požární bezpečnost staveb. Nevýrobní objekty.
- [2] ČSN 73 0037: Zemní tlak na stavební konstrukce.
- [3] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [4] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí, část 1-1: Obecná zatížení.
- [5] ČSN EN 1991-1-2: Zatížení stavebních konstrukcí, část 1-2: Obecná zatížení – zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru.
- [6] ČSN EN 1991-1-3: Zatížení stavebních konstrukcí, část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem.
- [7] ČSN EN 1991-1-4: Zatížení stavebních konstrukcí, část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem.
- [8] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [9] ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [10] ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru.

### Literatura

- [11] LOKAJ, Antonín, Jozef GOCÁL, Pavol ŽURICA, et al. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- [12] BÍLEK, Vladimír. *Dřevostavby: Navrhování dřevěných vícepodlažních budov*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03159-4.
- [13] KOLB, Josef. *Dřevostavby: Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Grada Publishing, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.



- [14] KUKLÍK, Petr, Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: Příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88.

## Webové stránky

- [15] TZBinfo [online]. 2017 [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/15930-technicka-normalizace-a-vicepodlazni-drevostavby>
- [16] TZBinfo [online]. 2017 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/15851-vicepodlazni-drevostavby-v-cechach-inspirovane-stavbami-ze-sveta>
- [17] iMaterialy [online]. 2008 [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: [https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/vicepodlazni-drevostavby-i-uvod-do-problematiky\\_101450.html](https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/vicepodlazni-drevostavby-i-uvod-do-problematiky_101450.html)
- [18] Novinky.cz [online]. 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://media.novinky.cz/417/704171-original1-7mv96.jpg>
- [19] Iereus [online]. 2010 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: [http://www.iereus.wz.cz/obr\\_mesta/mainz\\_hr25.jpg](http://www.iereus.wz.cz/obr_mesta/mainz_hr25.jpg)
- [20] ResearchGate [online]. 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Babak\\_Bahrani/publication/324149760/figure/fig2/AS:646870653218818@1531237390759/Platform-vs-Balloon-Framing-24.png](https://www.researchgate.net/profile/Babak_Bahrani/publication/324149760/figure/fig2/AS:646870653218818@1531237390759/Platform-vs-Balloon-Framing-24.png)
- [21] Stavebniny-rychle.cz [online]. 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: [http://www.stavebniny-rychle.cz/data/mod\\_news/302/pict/small-drevenue-ramove-stavby.jpg](http://www.stavebniny-rychle.cz/data/mod_news/302/pict/small-drevenue-ramove-stavby.jpg)
- [22] Mrštňý [online]. 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://mrstny.cz/file/stf73/20170929-162217.jpg>
- [23] Časopis stavebnictví [online]. 2007 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: [https://www.casopisstavebnictvi.cz/UserFiles/Image/0710/24\\_schema1.jpg](https://www.casopisstavebnictvi.cz/UserFiles/Image/0710/24_schema1.jpg)

- [24] Stora Enso [online]. 2016 [cit. 2018-11-21]. Dostupné z:  
[https://www.storaenso.com/-/media/Images/Products/Wood-products/Content/CLT/Eskolantie\\_CLT\\_72dpi.ashx](https://www.storaenso.com/-/media/Images/Products/Wood-products/Content/CLT/Eskolantie_CLT_72dpi.ashx)
- [25] Rigips [online]. 2017 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.rigips.cz/vyber-a-kalkulace-konstrukci/>
- [26] Stavebniny DEK [online]. 2018 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z:  
<https://www.dek.cz/obsah/technicka-podpora/skladby-a-systemy-dek>
- [27] Sněhová mapa [online]. 2018 [cit. 2018-09-29]. Dostupné z:  
<http://www.snehovamapa.cz/>
- [28] BOVA [online]. 2015 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <http://bova-nail.cz/produkt/trmen-bvt-80-11-25/>